

MAPAS DEL TIEMPO

INTRODUCCIÓN A LA
GRAN HISTORIA

DAVID CHRISTIAN



Mapas del tiempo es historia a gran escala: una nueva forma de «gran historia» que nos cuenta, desde la perspectiva del hombre, lo que ha ocurrido desde el origen del universo hasta nuestros días. William H. McNeill ha dicho de este libro que «reúne la historia natural y la historia humana en una narración única, grandiosa y comprensible» y que «estamos ante una obra maestra de historia y de pensamiento, clara, coherente, erudita, elegante, audaz y concisa, que presenta al lector una magnífica síntesis de lo que los investigadores académicos y los científicos han aprendido sobre el mundo que nos rodea en los últimos cien años. Al lector que está a punto de adentrarse en este libro le aguarda una experiencia inolvidable. Que lea, se asombre y admire».



David Christian

Mapas del tiempo

Introducción a la gran Historia

ePub r1.1

Titivillus 31.05.2020

Título original: *Maps of Time. An Introduction to Big History*

David Christian, 2004

Traducción: Antonio Prometeo Moya

Diseño de cubierta: Jaime Fernández

Editor digital: Titivillus

ePub base r2.1



*Esto será para ti este mundo fugaz:
una estrella al amanecer, una burbuja en un río,
un relámpago en una nube de verano,
el destello de una lámpara, un fantasma, un sueño.*

Sutra del diamante, c. siglo iv d. C.

PREFACIO

Mapas del tiempo reúne la historia natural y la historia humana en una narración única, grandiosa y comprensible. Es una gran hazaña, semejante a la que protagonizó Isaac Newton en el siglo XVII cuando unió los cielos y la tierra bajo las leyes uniformes del movimiento; incluso diría que se parece más a la que realizó Darwin en el siglo XIX al agrupar a la especie humana y otras formas de vida en un único proceso evolutivo.

La historia natural que cuenta David Christian en los primeros capítulos es una reformulación radical de la historia natural de los primeros tiempos. Comienza por el big bang, hace unos 13 000 millones de años, momento en que, según los cosmólogos del siglo XX, el mundo que conocemos comenzó a expandirse y a transformarse. Estos procesos siguen vigentes desde entonces, cuando (quizá) comenzaron el tiempo y el espacio, permitiendo que la materia y la energía se separasen y se distribuyeran por todo el espacio con densidad diferente y con distinta velocidad de flujo energético en respuesta a las fuerzas fuertes y débiles. La materia, concentrada en grumos locales por efecto de la gravedad, se transformó en estrellas que se agruparon en galaxias. Alrededor de estas estructuras brotaron complejidades nuevas y nuevos flujos de energía. Entonces, hace 4600 millones de años, alrededor de una estrella, el Sol, se formó el planeta Tierra, que muy poco después fue escenario de procesos más complicados aún, incluida la vida en todas sus formas. La humanidad añadió otro nivel de comportamiento hace apenas 250 000 años, cuando gracias al uso del lenguaje y otros símbolos quedó capacitada de un modo extraordinario para lo que Christian llama «aprendizaje colectivo». Este hito hizo posible a su vez algo excepcional, que las sociedades humanas unieran sus esfuerzos para alterar y ocasionalmente ampliar una variada serie de nichos del ecosistema local, y con el tiempo, nos englobáramos todos en un sistema planetario único.

La historia humana que Christian inserta en la última versión de la historia natural del universo es también una creación intelectual del siglo XX. Pues mientras los físicos, los cosmólogos, los geólogos y los biólogos establecían la historia de las ciencias naturales, los antropólogos, los arqueólogos, los historiadores y los sociólogos se afanaban por ampliar el conocimiento sobre el paso de los humanos por la tierra. Retrocedían en el tiempo y abarcaban toda la superficie del planeta para dar cuenta de los recolectores, los primeros agricultores y otros grupos que no dejaron testimonios escritos y, por lo tanto, habían sido excluidos de la historia «científica», basada en documentos, del siglo XIX.

La mayoría de los historiadores, como es lógico, pasaba por alto la prehistoria o la existencia de las poblaciones ágrañas, ya que casi todos andaban enfrascados en sus propias polémicas profesionales. Durante el siglo XX, estas polémicas y el estudio

de multitud de textos euroasiáticos y de algunos africanos y amerindios ampliaron sustancialmente el volumen de la información histórica y dilataron el horizonte de nuestras ideas sobre las conquistas de las poblaciones urbanizadas, alfabetizadas y civilizadas de la tierra. Algunos profesionales de la historia mundial, entre los que me contaba yo, trataban de ensamblar estas investigaciones para dar una imagen más coherente de la trayectoria general de la humanidad. Yo llegué a escribir un ensayo programático, «History and the Scientific Worldview» (History and Theory 37, n.º 1 [1998], pp. 1-13), en el que contaba lo sucedido en las ciencias naturales y animaba a los historiadores a generalizar con audacia suficiente para vincular su disciplina con la historización de las ciencias naturales que se había producido a nuestras espaldas. Ya hay varios investigadores que trabajan en este sentido, pero sólo cuando empecé a cartearme con David Christian supe que había un historiador que estaba escribiendo la obra que deseábamos.

Lo que realmente sorprende en la obra de Christian es que el autor encuentra pautas de transformación parecidas en todos los niveles. He aquí, por ejemplo, lo que dice a propósito de las estrellas y las ciudades:

En el universo primitivo, la gravedad se apoderó de los átomos y con ellos esculpió estrellas y galaxias. En la era descrita en este capítulo veremos que una especie de gravedad social esculpió ciudades y estados con comunidades dispersas de agricultores. Conforme las poblaciones agrícolas se agrupaban en comunidades mayores y más densas, aumentaron las interacciones entre los grupos y creció la presión social hasta que, por un proceso asombrosamente parecido al de la formación de las estrellas, aparecieron estructuras nuevas y un nuevo nivel de complejidad. Al igual que las estrellas, las ciudades y los estados reorganizaron y energizaron los objetos menores dentro de su campo gravitatorio (p. 262).

O adviértanse las palabras con que el autor cierra este extraordinario libro:

Dado que somos criaturas complejas, sabemos por experiencia propia lo que cuesta subir por la escalera de bajada, ir contra la corriente universal hacia el desorden, de modo que es inevitable que nos maravillen otras entidades que al parecer hacen lo mismo. Por eso este tema —la obtención de orden a pesar o quizás con ayuda de la segunda ley de la termodinámica— está presente en todas las partes de la historia que hemos contado. El interminable vals que bailan el caos y la complejidad es una de las ideas aglutinadoras de este libro (p. 605).

Yo me atrevo a decir que el descubrimiento del orden en «el interminable vals que bailan el caos y la complejidad» no es sólo un tema aglutinador entre otros, sino el hallazgo supremo de este libro.

Estamos, pues, ante una obra maestra de historia y de pensamiento, clara, coherente, erudita, elegante, audaz y concisa, que presenta al lector una magnífica síntesis de lo que los investigadores académicos y los científicos han aprendido sobre el mundo que nos rodea en los últimos cien años, y le muestra cómo las sociedades humanas, por extraño que parezca, siguen formando parte, en profundidad, de la naturaleza y se sienten cómodas en el universo, a pesar de su extraordinario poder, de su excepcional autoconciencia y de su inagotable capacidad para el aprendizaje colectivo.

Quizá debería terminar estas palabras de introducción hablando de David Christian. Ante todo hay que decir que tiene raíces internacionales, ya que su padre era inglés, su madre norteamericana y los dos se conocieron y se casaron en Izmir, Turquía. La madre volvió a Nueva York en 1946, para dar a luz, y el padre, tras causar baja en el puesto que había ocupado durante la guerra en el ejército británico, entró en la administración colonial y fue funcionario de distrito en Nigeria. Su mujer se reunió con él allí poco tiempo después, y David pasó su primera infancia en los campos nigerianos, hasta que a los siete años lo enviaron a un internado de Inglaterra. Con el tiempo fue a Oxford y se licenció en historia moderna en 1968. (Esto, en Oxford, quiere decir empaparse de fragmentos aislados de la historia de Inglaterra desde los tiempos de los romanos, de fragmentos aislados de la historia general europea y de algunas décadas ocasionalmente seleccionadas de la historia de Estados Unidos: lo contrario de la «gran historia»). Durante dos años trabajó de tutor en la universidad canadiense de Ontario Occidental, donde obtuvo un máster. Por entonces había decidido especializarse en la historia de Rusia y volvió a Oxford, donde se doctoró en 1974 con una tesis sobre las reformas administrativas del zar Alejandro I. Al igual que su padre, contrajo matrimonio con una ciudadana estadounidense, con la que ha tenido dos hijos.

Entre 1975 y 2000 enseñó historia de Rusia en la Universidad Macquarie de Sidney (Australia) e impartió algunos cursos sobre literatura rusa e historia europea. Influido por la escuela francesa de Annales, se puso a estudiar los aspectos cotidianos de la vida rusa. De aquí salieron dos libros, los dos relacionados con cosas que los rusos se llevaban a la boca: Bread and Salt: A Social and Economic History of Food and Drink in Russia (1985, en colaboración con R. E. F. Smith) y Living Water: Vodka and Russian Society on the Eve of Emancipation (1990). Gracias a estos libros se le invitó a escribir otros sobre temas más generales: primero Power and Privilege: Russia and the Soviet Union in the Nineteenth and Twentieth Centuries (1986) y luego Inner Eurasia from Prehistory to the Mongol Empire (1998), volumen I de A History of Russia, Central Asia, and Mongolia.

La amplitud del horizonte geográfico y temporal abarcado por el último título refleja ya la empresa docente en la que se embarcó en 1989, cuando, en el curso de unas conversaciones, allá en Macquarie, sobre la introducción a la historia que debía enseñar el departamento, David Christian soltó algo así como «¿por qué no empezar por el principio?», tras lo que sus colegas se apresuraron a pedirle que se explicase. A diferencia de los historiadores anteriores que han contado la historia humana a escala planetaria, Christian resolvió empezar por el mismísimo universo; y con la colaboración de algunos colegas de otros departamentos comenzó, con algunos titubeos, el primer año de lo que él mismo, en broma, llamó «gran historia» (big history).

La «gran historia» encontró desde el principio una amplia respuesta estudiantil que pronto se convirtió en entusiasmo. Pero donde más eco profesional despertó fue en los Países Bajos y en Estados Unidos, donde otros profesores, al enterarse de la materia que enseñaba David Christian, inauguraron cursos parecidos. La World History Association y la American Historical Association se dieron por enteradas dedicando una sesión a la «gran historia» en el congreso anual de 1998. Tres años más tarde, David Christian fue invitado a enseñar «gran historia» en la San Diego State University.

No es el único tema que le interesa profesionalmente. Christian sigue trabajando en el segundo volumen de la History of Russia, Central Asia, and Mongolia; y en un estudio sobre la campaña contra el alcohol en la Rusia de los años veinte. En sus ratos libres ha escrito además algunos importantes artículos sobre las escalas con que se aborda la historia y otros temas. Es, en pocas palabras, un historiador con una energía, una valentía y una capacidad poco comunes.

Al lector que está a punto de adentrarse en este libro le aguarda una experiencia inolvidable. Que lea, se asombre y admire.

William H. McNeill

AGRADECIMIENTOS

Un proyecto como éste transforma a cualquiera en ave de rapiña. Recogemos ideas e información con voracidad y nos olvidamos en seguida de todo lo que es propiedad intelectual de otros. Por suerte, casi todos los investigadores académicos, a pesar de la fama que tienen, son fantásticamente generosos con su tiempo y sus ideas. Yo me he aprovechado de esta generosidad en concreto en las dos instituciones en las que más tiempo he dado clases, la Universidad Macquarie de Sidney y la Estatal de San Diego de California. Procuraré mencionar a todas las personas con quienes estoy en deuda, aunque hay muchas más a las que no podré mencionar porque no recuerdo sus nombres. Tengo las sugerencias, los enfoques y las bibliografías tan metidos en la cabeza que soy incapaz de recordar de dónde salieron; a veces incluso me tienta creer que son hallazgos míos. Lo único que se me ocurre es pedir disculpas por estas amnesias y dar las gracias de un modo general a los amigos y colegas que tuvieron paciencia suficiente para comentar conmigo los problemas de esa historiografía a gran escala que me fascina desde hace más de una década.

En especial, deseo dar las gracias a Chardi, que es narradora profesional y junguiana. Fue ella quien me convenció de que lo que yo enseñaba era en realidad un mito de creación. También quiero expresar mi agradecimiento a Terry (Edmund) Burke, que da un curso sobre «gran historia» en Santa Cruz, California. A él le debo la convicción de que había llegado el momento de escribir un manual sobre la materia, con la esperanza de animar a otros colegas a dar cursos parecidos. Burke me dio además valiosos (y a veces dolorosos) varapalos críticos durante las primeras etapas de la redacción del manuscrito. Y ha sido una constante fuente de estímulo.

También estoy en deuda con cuantos participaron como profesores o tutores en el curso de gran historia que dirigí en la Universidad Macquarie entre 1989 y 1999. Los menciono por orden alfabético: David Allen, Michael Archer, Ian Bedford, Craig Benjamin, Jerry Bentley, David Briscoe, David Cahill, Geoff Cowling, Bill Edmonds, Brian Fegan, Dick Flood, Leighton Frappell, Annette Hamilton, Mervyn Hartwig, Ann Henderson-Sellers, Edwin Judge, Max Kelly, Bernard Knapp, John Koenig, Jim Kohen, Sam Lieu, David Malin, John Merson, Rod Miller, Nick Modjeska, Marc Norman, Bob Norton, Ron Paton, David Phillips, Chris Powell, Caroline Ralston, George Raudzens, Stephen Shortus, Alan Thorne, Terry Widders y Michael Williams. Y quiero dar las gracias asimismo a la Universidad Macquarie por el período de excedencia durante el que redacté el primer borrador de este libro.

Ciertas personas han apoyado de manera especial la idea de gran historia y algunas han dado cursos a escala macrohistórica. John Mears empezó a impartir un curso con este enfoque casi al mismo tiempo que yo, y siempre ha sido un partidario entusiasta de la idea. Tom Griffiths y sus colegas dieron un curso de gran historia en la Universidad Monash a principios de los años noventa. Johan Goudsblom dio otro

en la Universidad de Amsterdam y también ha sido un partidario entusiasta del proyecto. Su colega Fred Spier escribió el primer libro que hay sobre esta disciplina, una ambiciosa y sólida defensa de la construcción de una «gran teoría unificada» que abarque las ciencias sociales y las naturales (*The Structure of Big History: From the big bang until Today*). Entre quienes han manifestado interés y apoyo o han impartido cursos parecidos quisiera citar a George Brooks, Edmund Burke III, Marc Cioc, Ann Curthoys, Graeme Davidson, Ross Dunn, Arturo Giráldez, Bill Leadbetter y Heidi Roupp. Durante el congreso que la American Historical Association celebró en Seattle en enero de 1998, Arnold Schrier presidió un simposio sobre la gran historia en el que se presentaron trabajos firmados por mí, por John Mears y por Fred Spier, y en el que escuchamos un agudo comentario de apoyo de Patricia O’Neal. Gale Stokes me invitó a hablar de la gran historia en un simposio sobre «la interrelación de las escalas» que tuvo lugar en San Francisco en enero de 2002, durante el congreso de la American Historical Association.

Mencionaré igualmente a cuantos han leído o comentado el borrador de algunos capítulos del libro. Además de algunos ya citados, quiero recordar a Elizabeth Cobbs Hoffman, Ross Dunn, Patricia Fara, Ernie Grieshaber, Chris Lloyd, Winton Higgins, Peter Menzies y Louis Schwartzkopf. En 1990 el profesor I. D. Kovalichenko me invitó a dar una charla sobre gran historia en la Universidad de Moscú y Valerii Nikolayev me invitó a dar otra en el Instituto de Estudios Orientales de Moscú. Stephen Mennell me pidió que hablara de macrohistoria en una conferencia que convocó hace casi diez años, y Eric Jones sacó unas conclusiones muy valiosas de aquella ponencia. Ken Pomeranz me envió un capítulo manuscrito de su libro sobre la «gran divergencia», no publicado todavía, y me invitó a hablar de gran historia en la Universidad de California-Irvine. Durante estos últimos años he dado charlas sobre gran historia en diversas instituciones australianas, como las universidades Macquarie y Monash, y las de Sidney, Melbourne, Newcastle, Wollongong y Australia Occidental; estadounidenses, como las universidades de California-Santa Cruz, la Estatal de Mankato (Minnesota) y la de Indiana Bloomington; canadienses como la Universidad Victoria de Toronto; y británicas, como las universidades de Newcastle y Manchester. Durante casi dos años trabajé con John Anderson para dar forma a un artículo teórico sobre las sociedades maximizadoras de poder y riqueza. No llegó a publicarse, pero la colaboración con John me regaló atisbos insospechados de la transición a la modernidad.

Desde septiembre de 1999, en que repartí copias de un manuscrito que todavía no era el definitivo, he recibido comentarios y críticas generosos de diversos colegas. Los menciono por orden alfabético: Alfred Crosby, Arturo Giráldez, Johan Goudsblom, Marnie Hughes-Warrington, William H. McNeill, John Mears, Fred Spier y Mark Welter. También quiero dar las gracias a (por lo menos) dos críticos anónimos elegidos por University of California Press. Marnie Hughes-Warrington enseñó conmigo en mi curso sobre gran historia del año 2000 y me hizo muchas

sugerencias valiosas. Como historiógrafo estuve en condiciones de alertarme sobre algunas consecuencias historiográficas del tema que había pasado por alto. William McNeill me dio ánimo en la larga y generosa correspondencia que sostuvimos a propósito de la redacción previa del manuscrito. Sus comentarios fueron estimulantes y críticos y han contribuido mucho a dar forma a mis ideas. En concreto me convenció de que me tomara más en serio el papel de las redes de intercambio en la historia mundial.

Estoy igualmente en deuda con los muchos estudiantes a los que he dado clases en Macquarie, en «HIST112: An Introduction to World History», y en la Universidad Estatal de San Diego, en «HIST411: World History for Teachers» y «HIST100: World History». Sus preguntas me obligaron a concentrarme en lo importante. Doy las gracias en concreto a los estudiantes que me aportaron datos o me hablaron de hallazgos nuevos localizados en libros que yo no había leído o en Internet, y también a los que, por disfrutar del curso, me convencieron de que valía la pena.

Creo asimismo que debo mucho al personal de University of California Press, a Lynne Withey, Suzanne Knott y otros. Alice Falk se encargó de la corrección de estilo con una minuciosidad aterradora. Su profesionalidad, su amabilidad y su buen humor aligeraron la compleja y a veces difícil transición del manuscrito al libro.

Dado el contenido de este libro, huelga decir que ninguna persona mencionada es responsable de los errores que se encuentren en él y que haberlas mencionado tampoco significa que estén necesariamente de acuerdo con lo que en él se defiende. Me ha sobrado tenacidad para soportar las amables críticas que se han formulado sobre sus primeras versiones, de modo que me corresponde ser el único responsable de los errores que queden en lo que se refiere a hechos, interpretaciones y juicios.

Espero que Chardi, Joshua y Emily piensen que es un regalo que les hago, un pequeño premio que les doy por el regalo que ellos han sido para mí desde hace tantos años.

David Christian

Introducción ¿UN MITO DE CREACIÓN MODERNO?

«GRAN HISTORIA»: VER EL PASADO A TRAVÉS DE TODAS LAS ESCALAS CRONOLÓGICAS

Para estudiar la historia hay que verla como un proceso de larga duración. No es el único medio, pero por sí mismo puede plantear todos los grandes problemas de las estructuras sociales del pasado y el presente. Es el único lenguaje que vincula la historia al presente y crea un todo indivisible.

FERNAND BRAUDEL

La historia universal abarca la vida pretérita de la humanidad, no sus relaciones y tendencias particulares, sino todos sus aspectos, su totalidad.

LEOPOLD VON RANKE

Una breve parada, un saboreo momentáneo
del existir en el oasis del desierto,
y hete aquí que la caravana fantasma llega
a la nada de la que partió... Ea, apresúrate.

OMAR KHAYAM

Al igual que los mercaderes de una caravana que cruza el desierto, necesitamos saber adónde vamos, de dónde venimos y en compañía de quién viajamos. La ciencia moderna nos dice que la caravana es amplia y variada, y que entre nuestros compañeros de viaje hay multitud de criaturas exóticas, desde quarks hasta galaxias. Sabemos también mucho acerca de dónde comenzó el viaje y hacia dónde nos dirigimos. Así pues, la ciencia moderna podría ayudarnos a responder algunas de las preguntas más difíciles que podemos plantearnos en relación con nuestra existencia y con la del universo por el que viajamos. Podría ayudarnos a señalar la frontera que todos deberíamos trazar entre lo personal y lo universal.

«¿Quién soy? ¿Dónde estoy? ¿De qué totalidad formo parte?». Todas las comunidades humanas se han formulado estas preguntas de un modo u otro. Y los sistemas educativos de casi todas las sociedades humanas se han esforzado por encontrar las respuestas. Por lo general, las respuestas han estado insertas en ciclos de mitos de creación. Al presentar una historia memorable e infalible del origen de todo —nuestras comunidades, los animales, las plantas, los paisajes que nos rodean, la Tierra, la Luna, los cielos y el universo mismo—, los mitos de creación proporcionan coordenadas universales en las que los creyentes imaginan su existencia y encuentran un papel en el gran esquema de las cosas. Los mitos de creación tienen fuerza porque responden a nuestra profunda necesidad espiritual, psíquica y social de tener un lugar y ser parte de algo. Dado que proporcionan una orientación tan importante, suelen aparecer integrados en sistemas religiosos a los niveles más profundos, como el principio del Génesis en las tradiciones judeocristiana e islámica. Uno de los muchos rasgos curiosos de la sociedad moderna es que, a pesar de disponer de más información concluyente que ninguna sociedad anterior, los agentes del sistema educativo moderno no suelen enseñar esta materia. Por el contrario, en colegios, universidades e institutos de investigación enseñamos sobre los orígenes de manera fragmentaria e inconexa. Al parecer somos incapaces de presentar una historia unificada del proceso por el que las cosas han llegado a ser como son.

He escrito este libro convencido de que tener tanta humildad intelectual es innecesario y peligroso. Innecesario porque estamos rodeados de elementos propios de un mito de creación moderno. Y peligroso porque contribuye a esa intangible pero omnipresente desorientación de la vida moderna que el sociólogo francés Émile Durkheim llamaba «anomia»: la sensación de no encajar, sensación que es consecuencia inevitable de no saber en qué hay que encajar.

Mapas del tiempo se propone esbozar una historia coherente y comprensible de nuestros orígenes, un mito de creación moderno. Empezó siendo un ciclo de charlas en un curso experimental de historia en la Universidad Macquarie de Sidney. El objetivo del curso era comprobar si se podía, y más en el mundo moderno, contar una historia coherente sobre el pasado a distintas escalas, que empezara literalmente por el origen del universo y terminara en la actualidad. Yo esperaba que cada escala añadiera algo nuevo a la imagen general e hiciera más comprensibles las escalas restantes. Dadas las convenciones imperantes en los departamentos de historia, era una auténtica impertinencia. Pero la idea resultó sorprendentemente factible, incluso más interesante de lo que había supuesto al principio. El cometido de esta introducción es en parte justificar esta forma diferente de pensar y enseñar el pasado.

Empecé enseñando «gran historia» en 1989; dos años después publiqué un ensayo que intentaba ser una defensa formal de este método^[1]. Aunque conscientes de la singularidad del proyecto, los que nos esforzábamos por enseñar gran historia no tardamos en convencernos de que aquellos grandes planteamientos aumentaban el interés de las clases y estimulaban la reflexión sobre la naturaleza de la historia.

Enseñando una historia tan general nos convencimos de que por debajo de la asombrosa diversidad y complejidad del conocimiento moderno hay una unidad y una coherencia de base que nos confirman que las diferentes escalas del tiempo tienen realmente algo que decirse. Vistas en su conjunto, las distintas historias tienen la fuerza y la riqueza del ciclo tradicional de los mitos de creación. Son lo que los indígenas australianos llamarían un «sueño» moderno: un relato coherente de cómo fuimos creados y cómo encajamos en el esquema de las cosas.

Hay algo más que conocieron casi todas las sociedades premodernas: la fuerza extraordinaria de los relatos que aspiran a comprender la realidad total. Esta fuerza es independiente del éxito o el fracaso de cada aspiración concreta; el proyecto tiene fuerza por sí mismo y satisface necesidades profundas. Yo creo que observar la totalidad del pasado es como recurrir a un mapa del mundo. Ningún geógrafo enseñaría geografía sirviéndose exclusivamente de planos callejeros. Sin embargo, casi todos los historiadores enseñan historia de países concretos, o historia de las civilizaciones agrícolas, sin preguntarse en ningún momento por el pasado total. ¿Cuál sería pues el equivalente temporal de un mapa del mundo? ¿Existe un mapa del tiempo que abarque todas las escalas del pasado?

Es un buen momento para plantear estas cuestiones porque en el mundo universitario aumenta la impresión de que necesitamos superar la descripción fragmentaria de la realidad que ha dominado la investigación (y con gran provecho) durante un siglo. Los científicos fueron los primeros en moverse. El éxito de la *Historia del tiempo* (1988) de Stephen Hawking muestra asimismo el interés del gran público por comprender la realidad total. Sin embargo, en el campo de Hawking, la cosmología, la idea de una «gran teoría unificada» se consideraba antaño ridícula y demasiado ambiciosa. Hoy se da por sentada. La biología y la geología también se han acercado a descripciones más unificadas de las materias que les son propias, por ejemplo con la consolidación, desde los años sesenta, de paradigmas que combinan la evolución y la tectónica de placas^[2].

En el Instituto de Santa Fe, en Estados Unidos, se vienen investigando estas interconexiones desde hace años. Un personaje vinculado al Instituto, Murray Gell-Mann, premio Nobel de Física, ha expuesto muy bien los argumentos que puede aducir un físico en favor de una interpretación más unificada de la realidad.

Vivimos en una época de especialización creciente y no sin motivo. La humanidad no deja de aprender cosas en cada campo de investigación, y conforme se desarrollan las especialidades, tienden a dividirse en subespecialidades. Es un proceso incessante y es tan inevitable como deseable. Por otro lado, sin embargo, crece también la necesidad de que la especialización se complementa con alguna clase de integración. El motivo es que ningún sistema complejo y no lineal puede describirse cabalmente dividiéndose en subsistemas o descomponiéndose en aspectos definidos de antemano. Si estos subsistemas o aspectos, puestos en briosa interacción, se estudiaran por separado, aunque fuera con lupa y escalpelo, la comparación de los resultados no arrojaría una imagen productiva de la realidad. En este sentido hay una gran verdad en el viejo refrán que dice que el todo es mayor que la suma de las partes.

Por tanto, hay que rechazar la idea de que el trabajo serio consiste en machacar un problema archidefinido en una disciplina estricta y de que el pensamiento integrador se deja para los cócteles. Ni en la

vida académica, ni en los círculos administrativos, ni en ninguna parte se respeta suficientemente el trabajo integrador.

Murray Gell-Mann ha añadido en el Instituto de Santa Fe: «Los hay que además de estudiar el comportamiento de las partes de un sistema al modo tradicional tienen la valentía de *mirar directamente el conjunto*^[3]».

¿Deberían buscar los historiadores una estructura unificadora equivalente, una «gran historia unificada» capaz de sintetizar, desde el punto de vista historiográfico, lo que se sabe actualmente sobre el origen? La aparición de una subdisciplina nueva, la historia universal, es un indicio de que muchos historiadores sienten también la necesidad de tener un enfoque más coherente de sus temas. La gran historia responde a esta necesidad. A finales de los años ochenta, John Mears, de la Universidad Metodista del Sur (en Dallas, Texas), inauguró más o menos al mismo tiempo que yo un curso de historia que empleaba las mayores escalas disponibles. Desde entonces ha habido cursos parecidos en otras universidades, en Melbourne, en Camberra, en Perth, en Amsterdam y también en Santa Cruz. Fred Spier, de la Universidad de Amsterdam, ha ido más allá y ha escrito el primer libro sobre la gran historia. En él defiende la construcción de una historia unificada de todas las escalas cronológicas^[4].

Además, hay investigadores de otros campos que tienen la creciente sensación de que nos estamos acercando a una gran unificación del conocimiento. El biólogo E. O. Wilson ha dicho que hay que empezar a investigar los vínculos que relacionan los distintos dominios del conocimiento, desde la cosmología hasta la ética^[5]. William McNeill, especialista en historia universal, ha señalado:

Los seres humanos, por lo que parece, pertenecen al universo y participan de su carácter inestable y en evolución. [...] Lo que acontece entre los humanos y entre las estrellas parece formar parte de un discurso grandioso y omnipresente en el que aparece de manera espontánea una complejidad que genera formas nuevas de comportamiento en todos los niveles de organización, desde los ínfimos quarks y leptones hasta las galaxias, desde las cadenas largas del carbono hasta los organismos vivos y la biosfera, y desde la biosfera hasta los universos simbólicos en los que viven y trabajan los humanos, individual y colectivamente, tratando siempre de obtener más de lo que quieren y necesitan del mundo que les rodea^[6].

Con el presente libro quiero contribuir a un proyecto mayor: construir una imagen más unificada de la historia y del conocimiento en general. Soy consciente de las dificultades del proyecto, pero estoy seguro de que es factible y a la vez importante, de modo que vale la pena acometerlo, con la esperanza de que otros, con el tiempo, lo mejoren. Además, estoy convencido de que un mito de creación moderno ha de ser tan rico y hermoso como los mitos de creación de las comunidades de otros tiempos; es una historia que merece contarse aunque el relato contenga imperfecciones.

ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN

Estos acontecimientos son tan imposibles que probablemente se parecen tanto a los que pudieron haber sucedido como los que nunca sucedieron a los que seguramente no sucederán nunca a nadie.

JAMES JOYCE

Si la Torre Eiffel representase la edad del mundo, la mano de pintura que cubre el punto más alto sería la historia del hombre; y todos pensarían que la torre se construyó por esa pintura. Creo que los demás lo pensarían; yo no.

MARK TWAIN

Erwin Schrödinger, uno de los fundadores de la física cuántica, expuso las dificultades de construir una imagen más unificada del conocimiento en el prefacio de un libro que escribió sobre un tema de biología: el origen de la vida. En este prefacio figura también la mejor razón que conozco para atreverse a acometer la empresa:

Hemos heredado de nuestros antepasados la nostalgia de un conocimiento unificado y omnímodo. El mismo nombre que se da a las máximas instituciones del saber nos recuerda que el factor universal ha sido, desde la antigüedad y durante muchos siglos, el único al que se ha dado plena credibilidad. Pero el desarrollo, en anchura y profundidad, de múltiples ramas del conocimiento en el curso de los últimos cien años y pico nos ha planteado un curioso dilema. Percibimos claramente que sólo en nuestros días estamos empezando a adquirir material de confianza para unir todo lo que se sabe en un solo conjunto; sin embargo, se ha vuelto casi imposible que un solo cerebro domine plenamente más de un pequeño campo especializado.

Lo único que se me ocurre para salir de este dilema (para que nuestro verdadero objetivo no se pierda para siempre) es que alguien se arriesgue a elaborar una síntesis de hechos y teorías, aun recurriendo a conocimientos incompletos y de segunda mano y a riesgo de hacer el ridículo.

Y basta de excusas^[7].

Algunos de los problemas más desalentadores que plantea la gran historia son de orden organizativo. ¿Qué forma ha de tener un mito de creación moderno? ¿Desde qué punto de vista hay que contarla? ¿Qué objetos habrán de ocupar el centro de la escena? ¿Qué escalas cronológicas tendrán vigencia?

Un mito de creación moderno no es ni puede esperarse que sea «neutral». El conocimiento moderno no cuenta con ningún «conocedor» omnisciente, con ningún punto neutral de observación desde el que todos los objetos, desde los quarks hasta las galaxias, pasando por los humanos, aparezcan con el mismo significado. No podemos estar en todas partes a la vez. De modo que la idea misma de conocimiento sin punto de vista concreto carece de sentido. (Técnicamente, esta afirmación refleja una posición filosófica, asociada a Nietzsche, y que se denomina perspectivismo). De

todos modos, ¿qué utilidad podría tener un conocimiento así? Todo conocimiento surge de una relación entre un conoedor y un objeto de conocimiento. Y los conoedores esperan dar algún empleo al conocimiento.

También los relatos que describen una creación surgen de una relación entre las comunidades humanas concretas y el universo imaginado por ellas. Dan respuestas a preguntas universales a escalas muy diferentes, motivo por el que a veces parecen tener una estructura incluyente, como las cajas chinas o como el universo tolemaico, con sus múltiples capas concéntricas. En el centro están los que quieren conocer. En el borde exterior hay una totalidad, de la clase que sea, un universo o un dios. Entre ambos hay entidades que viven a diferentes escalas temporales, espaciales y mitológicas. Así pues, las preguntas que formulamos son las que establecen la forma general de todos los mitos de creación. Y puesto que somos humanos, es normal que los humanos ocupen más espacio en el mito del que ocupan en el universo total. Un mito de creación siempre se refiere a alguien, y la historia que se cuenta en este libro es el mito de la creación de los seres humanos modernos, educados en las tradiciones científicas del mundo moderno. (Esto significa, paradójicamente, que la estructura narrativa del mito de creación moderno, como la de todos los mitos de creación, puede parecer precopernicana, a pesar de su contenido rotundamente poscopernicano).

No obstante la amplitud de su horizonte, *Mapas del tiempo* no pretende abrumar al lector con detalles. Me he esforzado (sin conseguirlo del todo) por poner un límite razonable al grosor del libro, esperando que los pormenores no impidan ver la imagen general. Los interesados por las partes concretas de esta historia podrán saber más al respecto sin problemas, y a este fin, a modo de punto de partida, he añadido al final de cada capítulo breves orientaciones bibliográficas.

La ajustada proporción de temas y motivos que hay en el libro refleja el hecho de que es un esbozo de gran historia proyectado desde la perspectiva de un historiador, no de un astrónomo, ni de un geólogo, ni de un biólogo. (Al final de esta introducción se enumera una serie de métodos macrohistóricos alternativos). Esto quiere decir que las sociedades humanas abultan aquí más de lo que destacan, por ejemplo, en los libros de Stephen Hawking o en *El cosmos, la tierra y el hombre* (1978) de Preston Cloud. Los cinco primeros capítulos abarcan temas que normalmente son competencia de la cosmología, la geología y la biología. Tratan del origen y la evolución del universo, de las galaxias y las estrellas, del sistema solar y de la Tierra, y de la vida en la Tierra. El resto del libro repasa la historia de nuestra especie y sus relaciones con el planeta y con otras especies. Los capítulos 6 y 7 hablan del origen de los seres humanos y de la naturaleza de las primeras sociedades humanas. Tratan de rastrear lo distintivo de la historia humana y lo que distingue a los humanos de otros organismos. El capítulo 8 analiza las primeras sociedades agrícolas, que carecieron de ciudades y estados. Con la aparición de la agricultura, hace unos 10 000 años, los humanos empiezan a vivir en comunidades densas en las que los

intercambios de información y de productos son más intensivos que nunca. Los capítulos 9 y 10 describen la aparición y evolución de las ciudades, los estados y las civilizaciones agrícolas. Los capítulos 11-14 están dedicados a la construcción de una interpretación coherente del mundo moderno y de su origen. Por último, el capítulo 15 mira hacia el futuro. La gran historia trata inevitablemente de grandes corrientes y tendencias, y éstas no se detienen de súbito en el momento actual. Un enfoque tan ambicioso del pasado plantea por fuerza preguntas sobre el porvenir, y hay ya algunas respuestas a mano, a propósito del futuro próximo (por ejemplo, de los próximos cien años) y del futuro remoto (los próximos dos mil o tres mil millones de años). Plantear estas preguntas debería ser en nuestros días una parte esencial de la educación, ya que las valoraciones que hagamos del futuro afectarán a las decisiones que tomemos en la actualidad: éstas, a su vez, influirán en el estilo del mundo que habiten nuestros hijos y nuestros nietos. No nos darán las gracias si nos tomamos este cometido a la ligera.

Otro problema organizativo se refiere a la temática. Una historia que abarca tantas disciplinas académicas podría parecer que tiene poca coherencia. Pero hay fenómenos que cruzan todas las escalas. Resulta que los agentes principales presentan una gran semejanza. En todos los niveles nos encontraremos con entidades ordenadas, desde moléculas hasta grandes cadenas de galaxias, pasando por microbios y sociedades humanas. El tema de una historia a todas las escalas es explicar cómo pueden existir estas entidades, cómo nacen, evolucionan y al final perecen. Como es lógico, cada escala tiene sus propias reglas —químicas en el caso de las moléculas, biológicas en el caso de los microbios—, pero la sorpresa es que algunos principios transformacionales subyacentes podrían ser universales. Ésta es la razón por la que Fred Spier ha aducido que, a un nivel básico, la gran historia trata de «regímenes». Trata de las frágiles pautas ordenadas que aparecen en todas las escalas y trata de sus modalidades evolutivas^[8]. Así pues, un tema fundamental de la gran historia será la variación de las reglas de transformación en las diferentes escalas, a pesar de las semejanzas fundamentales que hay en la esencia de todo cambio. La historia humana es distinta de la historia cosmológica, pero no es totalmente distinta. En el apéndice 2 comento algunos principios generales del cambio, pero el conjunto del libro examina algunas de las reglas de transformación que aparecen en distintas escalas.

A FAVOR Y EN CONTRA DE LA GRAN HISTORIA

A los geólogos, los arqueólogos o los prehistoriadores les parecerá del todo natural que se estudie el pasado a escalas mastodónticas. Pero no a todos les convencerá el cometido de la gran historia. A los historiadores profesionales en concreto, la idea de estudiar el pasado con escalas temporales tan amplias podría parecerles demasiado ambiciosa y hasta imposible, un pasatiempo alejado de la

verdadera misión de la investigación histórica. Para terminar esta introducción responderé a las cuatro objeciones principales que podrían hacerse.

La primera es habitual entre los historiadores profesionales. Dice que al aumentar la escala, la historia se vuelve intangible. Pierde detalles, textura, concreción y sustancia. Al final se vuelve vacía. Lógicamente, en las escalas grandes, los temas y problemas propios de los historiadores profesionales podrían desaparecer, del mismo modo que desaparecen los rasgos de un paisaje conocido cuando se observan desde un avión en ascenso. La Revolución francesa podría mencionarse sólo de pasada en un curso de gran historia. Pero hay compensaciones. Conforme ampliamos la ventana por la que observamos el pasado, los rasgos del paisaje conocido que antaño nos parecían demasiado grandes para encajar en él se perciben ahora en su totalidad. Además de las aldeas y carreteras de las historias nacionales y locales, empezamos a ver ahora los continentes y océanos del pasado. Los encuadres, tengan el tamaño que tengan, excluyen más de lo que revelan. Y esto es particularmente aplicable a los marcos temporales convencionales de la historiografía moderna, que suelen abarcar unos cuantos años o unos cuantos siglos. Lo sorprendente es que lo que ocultan los marcos convencionales es la presencia misma de la humanidad. Incluso en marcos temporales de varios miles de años es difícil plantear preguntas sobre el significado general de la historia humana en la biosfera circundante. Sin embargo, en un mundo con armas nucleares y problemas ecológicos que desbordan las fronteras nacionales necesitamos con urgencia enfocar a la humanidad como un todo. Las descripciones del pasado que se centran sobre todo en las divisiones entre naciones, religiones y culturas empiezan a parecer localistas y anacrónicas, incluso peligrosas. Así pues, no es verdad que la historia se vuelva vacía en las escalas grandes. Los objetos conocidos podrán desvanecerse, pero a cambio aparecen otros objetos y problemas, no menos importantes. Y su presencia no puede sino enriquecer la disciplina.

Otra objeción es que los historiadores, para hablar de gran historia, tendrán que rebasar las fronteras de su disciplina. Esto es verdad. Los estudios sinópticos como el presente libro corren muchos riesgos, porque el autor depende de fuentes secundarias y de otros estudios sinópticos. Por consiguiente, habrá meteduras de pata y malentendidos: el error forma parte del proyecto. En realidad, forma parte del proceso del aprendizaje. Para entender el propio país hay que ir a otros al menos una vez en la vida. No se entenderá todo lo que se vea, pero empezará a verse el país propio desde otro punto de vista. Lo mismo puede decirse de la historia. Para entender lo que es característico de la historia humana hay que saber aproximadamente cómo enfocaría la cuestión un biólogo o un geólogo. No podemos volvernos biólogos ni geólogos y nuestro enfoque de la biología y la geología tendrá límites, pero debemos aprovechar como mejor sepamos la experiencia de los especialistas en otras materias. Y tenemos mucho que aprender de sus puntos de vista sobre el pasado. El respeto exagerado por la autonomía de las disciplinas ha obstaculizado las posibilidades de la sinergia intelectual entre los distintos campos

del conocimiento. Diré, por ejemplo, que necesitamos el enfoque del biólogo para comprender lo que es realmente característico del tipo animal al que pertenecemos, *Homo sapiens*.

En tercer lugar podría objetarse que la gran historia aspira a construir otro «gran relato» precisamente cuando hemos comprendido la inutilidad, incluso los peligros, de los grandes relatos. ¿No marginará el metarrelato gran-histórico las historias alternativas, de las minorías, de las regiones, de las naciones o etnias concretas^[9]? Es posible que lo único capaz de hacer justicia a la riqueza de la experiencia humana sea observar el pasado de manera fragmentaria («con ojos de joyero», por utilizar la expresión de los antropólogos George Marcus y Michael Fischer^[10]). Como señala acertadamente Natalie Zemon Davis:

Sigue en el aire la cuestión de si es apropiado un solo relato modélico para contar la historia global. Yo creo que no. Los relatos modélicos son particularmente sensibles a la influencia de las pautas características de la época y el lugar del historiador, al margen de la utilidad que puedan tener para explicar parte de los testimonios históricos. Si hay una historia global innovadora y descentralizada que descubre trayectorias y caminos históricos alternativos y pertinentes, nada impide que sus macrorrelatos sean también alternativos o múltiples. Lo que debe hacer la historia global es situar creativamente esos relatos en un marco interactivo^[11].

Una vez más, la acusación es cierta, por lo menos en parte. Los relatos parecen inevitables cuando miramos al pasado utilizando escalas grandes y, desde luego, estarán moldeados por los intereses contemporáneos. Sin embargo, es un error rechazar los macrorrelatos, por grandes que parezcan. Guste o no, los macrorrelatos se buscan y se encuentran, porque proporcionan significados. Como ha dicho William Cronon a propósito de la historia ecológica: «Cuando describimos las actividades humanas en el interior de un ecosistema, siempre da la sensación de que estamos contando historias. A semejanza de los historiadores, configuramos los acontecimientos del pasado en series causales —relatos— que ordenan y simplifican los acontecimientos para darles significados nuevos. Procedemos así porque el relato es la principal forma literaria que trata de encontrar significados en una realidad cronológica abrumadoramente atestada y desordenada^[12]». Si los intelectuales con carnet son demasiado remilgados para escribirlos, los relatos proliferarán de todos modos y ellos quedarán en la sombra y se marginarán solos. Esto es como un abandono de las responsabilidades, sobre todo porque los intelectuales han desempeñado un papel muy importante en la creación de muchos metarrelatos actuales. Los metarrelatos existen, tienen fuerza y son poderosos. Podemos adaptarlos, pero nunca podremos desterrarlos. Además, aunque los grandes relatos tengan fuerza, los grandes relatos subliminales podrían tener más fuerza aún. Por debajo de la superficie del conocimiento moderno existe ya un «mito de creación moderno». Existe con una forma peligrosa, como fragmentos de conocimiento mal expresados y mal comprendidos que cuestionan las versiones tradicionales de la realidad pero no se han integrado para dar una imagen nueva de dicha realidad. Sólo

cuando un mito de creación moderno proporcione una historia coherente será realmente posible dar el siguiente paso: criticarlo, deconstruirlo y quizá mejorarlo. En historia, como en arquitectura, para deconstruir hay que construir. Hemos de ver el mito antes de pasar a criticarlo. Y hemos de expresarlo antes de verlo. Ernest Gellner puso el dedo en la llaga en la introducción a su enfoque sinóptico de la historia, *El arado, la espada y el libro* (1991):

El objetivo del presente volumen es sencillo. Es dar, con unos perfiles muy claros y quizás exagerados, una imagen de la historia humana que ha venido adquiriendo forma últimamente, pero que todavía no se ha codificado con propiedad. Este intento de concretarlo no se debe a que el autor tenga la fantasía de creer que es verdadero, porque no la tiene. La verdad final y definitiva no es un don de las teorías en general. En concreto es poco probable que se acepten teorías que abarcan una variedad infinita de hechos extremadamente complejos que superan la capacidad de un solo investigador. La imagen se expone con la esperanza de que la claridad y las consecuencias de la exposición permitan analizarla con sentido crítico^[13].

Además, en un «gran relato» como el que se presenta en este libro pueden caber muchísimas cosas. En el mercado global de la «verdad» del siglo XXI, todos los relatos coexisten en dura competencia. Las detalladas crónicas del pasado que se han venido enseñando en escuelas y universidades se encargan de que un mito de creación moderno no sea un relato monolítico y único, sino más bien un amplio y desvinculado ciclo de historias, cada una de las cuales podrá contarse de muchas maneras y con muchas variantes. Puestos a ello, es posible que los relatos muy grandes creen más espacio para otras versiones del pasado que pugnan por sobrevivir en los actuales programas de historia (menos amplios). Como ha dicho Patrick O'Brien: «Es de esperar que conforme aumente el número de historiadores que escriben a escala global, la disciplina adquiera reputación y produzca metarrelatos contrapuestos a los que el desbordante caudal de historias locales, regionales y nacionales podría reengancharse^[14]».

La cuarta objeción está estrechamente relacionada con la precedente: ¿no estará un relato tan ambicioso condenado a atribuirse un exagerado derecho a la verdad? He visto, cuando enseño gran historia, que los estudiantes se esfuerzan por encontrar el término medio entre dos posiciones extremas. Por un lado, les atrae pensar que una versión moderna y «científica» del origen es verdadera y que todas las versiones anteriores son más o menos falsas. Por otro, dados los titubeos de las versiones modernas del pasado, también les atrae suponer que se trata de «una historia más».

Imaginar un relato gran-histórico como un mito de creación moderno es una buena forma de ayudar a los estudiantes a encontrar el equilibrio epistemológico entre los dos extremos. Porque es un aviso, en primer lugar, de que todas las versiones de la realidad son provisionales. Muchas historias que se cuentan actualmente parecerán pintorescas e infantiles dentro de unos siglos, del mismo modo que hoy nos parecen ingenuos muchos elementos de los mitos de creación tradicionales. Pero no por saberlo caemos en un relativismo nihilista. Todos los sistemas gnoseológicos, desde la ciencia moderna hasta los insertos en los mitos de

creación más antiguos, se pueden considerar mapas de la realidad. Nunca son verdaderos o falsos, sin más. Las descripciones absolutas de la realidad son imposibles, innecesarias y demasiado costosas para los organismos que aprenden, incluidos los humanos. Pero las descripciones accesibles son indispensables. Por ejemplo, sistemas de conocimiento como los mapas son una combinación compleja de realismo, flexibilidad, utilidad e inspiración. Deben dar una descripción de la realidad que se ajuste hasta cierto punto al sentido común. Pero la descripción también debe ser útil. Debe contribuir a la solución de los problemas que cada comunidad ha de resolver, sean espirituales, psicológicos, políticos o mecánicos^[15].

Todos los mitos de creación han presentado en su momento un mapa práctico de la realidad y eso es porque se creía en ellos. Concordaban con lo que la gente sabía. Contenían mucho saber empírico útil; y sus estructuras mayores ayudaban a la gente a situarse en una realidad más general. Pero cada mapa tenía que basarse en el conocimiento y satisfacer las necesidades de una sociedad concreta. Por ese motivo no han de ser necesariamente «verdaderos» fuera de su entorno doméstico. Un mito de creación moderno no necesita excusarse por ser local. Debe empezar por el conocimiento moderno y por preguntas modernas, porque está destinado a personas que viven en el mundo moderno. Necesitamos comprender nuestro universo aunque estemos seguros de que este anhelo no se cumplirá nunca. Así pues, lo más convincente que podemos decir sobre la verdad de un mito de creación moderno es que presenta una versión unificada del origen *desde la perspectiva de principios del siglo XXI*.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS SOBRE GRAN HISTORIA

A continuación se enumera una serie de obras que estudian el pasado utilizando escalas mayores que las de la historia universal, o tratan de ver la historia humana en su contexto más amplio, o aportan encuadres metodológicos para alcanzar estas contextualizaciones. Es una definición muy amplia de la «gran historia» y es indudable que podría haber incluido en ella muchas otras obras. Los autores proceden de campos muy distintos, y también los libros son de una gran variedad por su método y por su calidad, de modo que hay espacio de sobra para polemizar sobre cuáles pueden considerarse obras gran-históricas y cuáles no. Esta bibliografía preliminar se basa en la primera lista compilada por Fred Spier, de la que he eliminado los libros demasiado técnicos para ser útiles a los historiadores y al público en general. También se han quedado en la cuneta muchos títulos que manejan escalas amplias y tienen mucho que enseñar a los historiadores, pero que no abarcan varias escalas temporales.

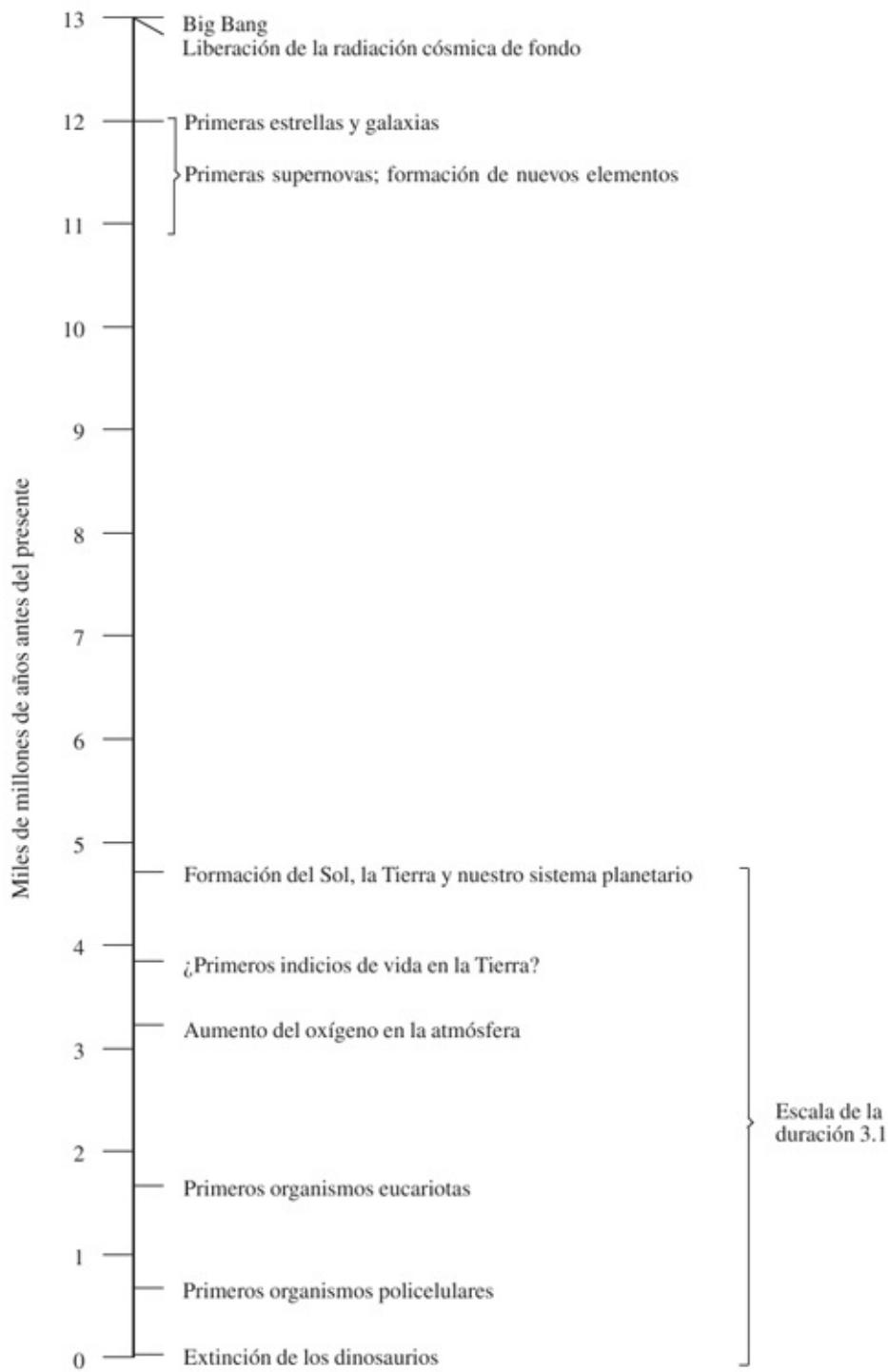
- Asimov, Isaac, *Beginnings: The Story of Origins – of Mankind, Life, the Earth, the Universe*, Walker, Nueva York, 1987 (hay trad. cast.: *Orígenes*, Plaza y Janés, Barcelona, 1992).
- Blank, Paul, y Fred Spier, eds., *Defining the Pacific: Constraints and Opportunities*, Ashgate, Aldershot (Inglaterra), 2002.
- Calder, Nigel, *Timescale: An Atlas of the Fourth Dimension*, Chatto and Windus, Londres, 1983.
- Chaisson, Eric J., *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 2001.
- , *The Life Era: Cosmic Selection and Conscious Evolution*, W. W. Norton, Nueva York, 1987.
- , *Universe: An Evolutionary Approach to Astronomy*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs (Nueva Jersey), 1988.
- Christian, David, «Adopting a Global Perspective», en D. M. Schreuder, ed., *The Humanities and a Creative Nation: Jubilee Essays*, pp. 249-262, Australian Academy of the Humanities, Canberra, 1995.
- , «The case for “big history”», *Journal of World History* 2, n.º 2 (otoño de 1991), pp. 223-238. Reimpreso en Ross E. Dunn, ed., *The New World History: A Teacher’s Companion*, Bedford-St. Martin, Boston, 2000, pp. 575-587.
- , «The Longest Durée: A History of the Last 15 Billion Years», *Australian Historical Association Bulletin*, 59-60 (agosto-noviembre de 1989), pp. 27-36.
- Cloud, Preston, *Cosmos, Earth, and Man: A Short History of the Universe*, Yale University Press, New Haven, 1978 (hay trad. cast.: *El cosmos, la tierra y el hombre*, Alianza, Madrid, 1988).
- , *Oasis in Space: Earth History from the Beginning*, W. W. Norton, Nueva York, 1988.
- Crosby, Alfred W., *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492*, Greenwood Press, Westport (Connecticut), 1988.
- , *Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900-1900*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986. (Hay trad. cast.: *Imperialismo ecológico*, Crítica, Barcelona, 1999).
- Delsemme, Armand, *Our Cosmic Origins: From the big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Diamond, Jared, *Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies*, Vintage, Londres, 1998 (hay trad. cast.: *Armas, gérmenes y acero: la sociedad humana y sus destinos*, Debate, Barcelona, 2004).
- , *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee*, Vintage, Londres, 1991 (hay trad. cast.: *El tercer chimpancé: evolución y futuro del animal humano*, Espasa Calpe, Madrid, 1994).

- Emiliani, Cesare, *Planet Earth: Cosmology, Geology, and the Evolution of Life and Environment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- Flannery, Tim, *The Eternal Frontier: An Ecological History of North America and Its Peoples*, Atlantic Monthly Press, Nueva York, 2001.
- , *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood (Nueva Gales del Sur), 1995.
- Gould, Stephen Jay, *Life's Grandeur: The Spread of Excellence from Plato to Darwin*, Jonathan Cape, Londres, 1996 (hay trad. cast.: *La grandeza de la vida: la expansión de la excelencia de Platón a Darwin*, Crítica, Barcelona, 1997).
- , *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, Hutchinson, Londres, 1989 (hay trad. cast.: *La vida maravillosa: Burgess Shale y la naturaleza de la historia*, Crítica, Barcelona, 1999).
- Gribbin, John, *Genesis: the Origins of Man and the Universe*, Delta, Nueva York, 1982 (hay trad. cast.: *Génesis: los orígenes del hombre y del universo*, Salvat, Barcelona, 1995).
- Hawking, Stephen, *A Brief History of Time: From the big bang to Black Holes*, Bantam, Nueva York, 1988 (hay trad. cast.: *Historia del tiempo. Del big bang a los agujeros negros*, Crítica, Barcelona, 1988).
- Hughes-Warrington, Marnie, «Big history», *Historically Speaking* (noviembre de 2002), pp. 16-20.
- Jantsch, Erich, *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*, Pergamon Press, Oxford, 1980.
- Kutter, G. Sigfried, *The Universe and Life: Origins and Evolution*, Jones and Bartlett, Boston, 1987.
- Liebes, Sidney, Elisabet Sahtouris y Brian Swimme, *A Walk Through Time, From Stardust to Us: The Evolution of Life on Earth*, John Wiley, Nueva York, 1998.
- Lovelock, James E., *The Ages of Gaia*, Oxford University Press, Oxford, 1988 (hay trad. cast.: *Las edades de Gaia: una biografía de nuestro planeta vivo*, Tusquets, Barcelona, 1993).
- , *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, Oxford, 1979 (hay trad. cast.: *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, Hermann Blume, Madrid, 1983).
- , *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine*, Unwin, Londres, 1991.
- Lunine, Jonathan I., *Earth: Evolution of a Habitable World*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Macdougall, J. D., *A Short History of Planet Earth: Mountains, Mammals, Fire, and Ice*, John Wiley, Nueva York, 1995.
- Margulis, Lynn, y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987 (hay trad. cast.: *Microcosmos*:

- cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos*, Tusquets, Barcelona, 1995).
- , *What is Life?*, University of California Press, Berkeley, 1995 (hay trad. cast.: *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona, 1996).
- Maynard Smith, John, y Eörs Szathmáry, *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origins of Language*, Oxford University Press, Oxford, 1999 (hay trad. cast.: *Ocho hitos de la evolución: del origen de la vida a la aparición del lenguaje*, Barcelona, 2001).
- McNeill, J. R., y William H. McNeill, *The Human Web: A Bird's-Eye View of World History*, W. W. Norton, Nueva York, 2003 (hay trad. cast.: *Las redes humanas: una historia global del mundo*, Crítica, Barcelona, 2004).
- McNeill, W. H., «History and the Scientific Worldview», *History and Theory* 37, n.º 1 (1998), pp. 1-13.
- , *Plagues and People*, Blackwell, Oxford, 1977 (hay trad. cast.: *Plagas y pueblos*, Siglo XXI, Madrid, 1984).
- McSween, Harry Y., Jr., *Fanfare for Earth: The Origin of Our Planet and Life*, St. Martin's, Nueva York, 1997.
- Morrison, Philip, y Phylis Morrison, *Powers of Ten: A Book about the Relative Size of Things in the Universe and the Effect of Adding Another Zero*, Scientific American Library, Redding (Connecticut), 1982, distribuido por W. H. Freeman, San Francisco.
- Nisbet, E. G., *Living Earth - A Short History of life and Its Home*, HarperCollins Academic Press, Londres, 1991.
- Packard, Edward, *Imagining the Universe: A Visual Journey*, Perigee, Nueva York, 1994.
- Ponting, Clive, *A Green History of the World*, Penguin, Harmondsworth, 1992 (hay trad. cast.: *Historia verde del mundo*, Paidós, Barcelona, 1992).
- Prantzos, Nikos, *Our Cosmic Future: Humanity's Fate in The Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- Prién, H. N. A., *Aarde en Leven: Het Leven in Relatie tot Zijn Planetaire Omgeving/Earth and Life: Life in Relation to Its Planetary Environment*, Kluwer, Dordrecht, 1993.
- Rees, Martin, *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe*, Basic Books, Nueva York, 2000.
- Reeves, Hubert, Joël de Rosnay, Yves Coppens y Doninique Simonnet, *Origins: Cosmos, Earth, and Mankind*, Arcade Publishing, Nueva York, 1998 (hay trad. cast. del original francés: *La historia más bella del mundo. Los secretos de nuestros orígenes*, Anagrama, Barcelona, 1997).
- Rindos, David, *Origins of Agriculture: An Evolutionary Perspective*, Academic Press, Nueva York, 1984.
- Roberts, Neil, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998².

- Simmons, I. G., *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*, Blackwell, Oxford, 1996².
- Smil, Vaclav, *Energy in World History*, Westview Press, Boulder (Colorado), 1994.
- Snooks, G. D., *The Dynamic Society: Exploring the Sources of Global Change*, Routledge, Londres, 1997.
- , *The Ephemeral Civilization: Exploding the Myth of Social Evolution*, Routledge, Londres, 1997.
- Spier, Fred, *The Structure of Big History: From the big bang Until Today*, Amsterdam University Press, Amsterdam, 1996.
- Stokes, Gale, «The Fates of Human Societies: A Review of Recent Macrohistories», *American Historical Review* 106, n.º 2 (abril de 2001), pp. 508-525.
- Swimme, Brian, y Thomas Berry, *The Universe Story: From the Primordial Flaring Forth to the Ecozoic Era: A Celebration of the Unfolding of the Cosmos*, HarperSanFrancisco, San Francisco, 1992.
- Wells, H. G., *The Outline of History: Being a Plain History of Life and Mankind*, George Newnes, Londres, 1920, 2 vols.
- , *A Short History of the World*, Cassell, Londres, 1922 (hay trad. cast.: *Breve historia del mundo*, Península, Barcelona, 2004).
- Wright, Robert, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Random House, Nueva York, 2000.

Primera parte
EL UNIVERSO INANIMADO



DURACIÓN 1.1. Escala del cosmos: 13 000 millones de años.

Capítulo 1

LOS PRIMEROS 300 000 AÑOS: EL ORIGEN DEL UNIVERSO, EL TIEMPO Y EL ESPACIO

Viola: ¿Qué país es éste, amigos?

Capitán: Es Iliria, señora.

SHAKESPEARE

EL PROBLEMA DE LOS ORÍGENES

¿Cómo empezó todo? Aunque ésta es la primera pregunta que debe afrontar un mito de creación, la respuesta sigue siendo difícil, a pesar de las conquistas de la cosmología moderna.

Todas las explicaciones tropiezan con el mismo problema cuando se trata del comienzo propiamente dicho: cómo puede salir algo de la nada. Es un problema de índole general, dado que los orígenes son inexplicables. En las escalas más reducidas, las partículas subatómicas brotan a veces de la nada de manera instantánea. No hay estadios intermedios. La física cuántica puede analizar con gran precisión estas curiosas entradas y salidas de la existencia, pero no puede dar una explicación humanamente sensata. Estas paradojas se reflejan muy bien en un dicho de los aborígenes australianos modernos: «Nada es nada^[1]».

La conciencia de las dificultades que entraña explicar los orígenes es tan antigua como los mitos. El siguiente pasaje plantea estas cuestiones con gran elegancia y un escepticismo sorprendentemente moderno. Procede del Rigveda, una colección de himnos hindúes que se compuso probablemente hacia 1200 a. C. Describe un paisaje anterior a la creación que ni existió en realidad ni dejó de existir totalmente.

No había entonces ni existencia ni no existencia; tampoco teníamos el territorio del espacio ni el cielo que hay más allá. ¿Se removía algo?

¿Dónde? ¿Para proteger a quién? ¿Había agua, insondablemente profunda?

Tampoco había entonces ni muerte ni inmortalidad. No había el menor rastro característico de la noche o el día. Aquello respiraba sin aire, por impulso propio. Aparte de esto no había nada.

¿Había abajo? ¿Había arriba? Había sembradores; había fuerzas. Había impulso por debajo; había empuje hacia arriba.

¿Quién lo sabe realmente? ¿Quién lo proclamará? ¿De dónde salió aquello?

¿De dónde es esta creación? Los dioses llegaron después y crearon este

universo. ¿Quién sabe entonces de dónde procede?
De dónde ha salido esta creación; quizá se formó sola o quizá no; sólo lo sabe el que la mira desde las alturas, en el cielo más encumbrado, aunque es posible que no lo sepa^[2].

Aquí se nos insinúa que al principio hubo una especie de nada poderosa que esperaba, como la arcilla en el taller del alfarero, el momento de transformarse en algo. Se parece mucho a la idea de vacío que tiene la física nuclear moderna: no contiene nada, pero puede tener forma y estructura, y (como se ha demostrado en experimentos con aceleradores de partículas) del vacío pueden brotar «objetos» y «energías».

Puede que hubiera un alfarero (o varios) esperando dar forma al vacío. Y es posible que el alfarero y la arcilla fueran en cierto modo idénticos. Según el *Popol Vuh*, o «Libro del consejo», un manuscrito maya del siglo XVI: «No había nada que estuviera en pie; sólo el agua en reposo, el mar apacible, solo y tranquilo. No había nada dotado de existencia. Solamente había inmovilidad y silencio en la oscuridad, en la noche. Sólo el Creador, el Formador, Tepeu, Gucumatz, los Progenitores, estaban en el agua rodeados de claridad. Estaban ocultos bajo plumas verdes y azules, por eso se les llama Gucumatz^[3]». Pero ¿de dónde procedía el Creador? Todo comienzo parece presuponer un principio anterior. En las religiones monoteístas, como el cristianismo o el islam, en cuanto se pregunta cómo fue creado Dios, aparecen los problemas. En vez de encontrar un solo punto de partida, tropezamos con una colección y todos plantean el mismo problema.

No hay ninguna solución satisfactoria para este rompecabezas. Lo que hemos de encontrar no es una solución, sino una forma de abordar el misterio, una forma de «señalar a la Luna», según la metáfora zen. Y hemos de hacerlo con palabras. Sin embargo, las palabras a las que recurrimos, sean «Dios» o la «gravedad», no sirven para nuestros propósitos. En consecuencia tenemos que emplear el lenguaje a nivel poético o simbólico; y esta clase de lenguaje, ya lo utilice un científico, un poeta o un chamán, puede malinterpretarse con facilidad. El antropólogo francés Marcel Griaule interrogó en cierta ocasión a un sabio dogon, llamado Ogotemmeli, acerca de un detalle mitológico, que muchos animales se congregaron en un pequeño peldaño (algo así como los animales en el Arca de Noé). Ogotemmeli respondió algo irritado: «Esto se ha de explicar con palabras, pero todo lo que hay en el peldaño es un símbolo... En un peldaño de un codo caben infinitos símbolos». Lo que aquí traducimos por «símbolo» podría traducirse también por «palabra de este mundo inferior^[4]». En el principio mismo de las cosas, hasta el lenguaje corre peligro de desintegrarse.

El tiempo plantea uno de los problemas más peliagudos. ¿Hubo un «tiempo» antes del tiempo? ¿Es el tiempo un producto de nuestra imaginación^[5]? En algunos sistemas de pensamiento el tiempo no existe realmente. Los lugares pasan a ser la

fuente de todo lo significativo y las paradojas de la creación adoptan otras formas^[6]. Pero no hay forma de eludir la paradoja del origen en las comunidades para las que el tiempo es fundamental. Lo que sigue es el resumen islámico de un intento mazdeísta de resolver estos enigmas. En este texto, el creador es una entidad inmutable llamada Tiempo que crea un universo mudable. Está gobernado por dos principios opuestos, los de los dioses Ormuz y Arimán.

Todo ha sido creado menos el Tiempo. El Tiempo es el creador y el Tiempo no tiene límites, ni techo ni fondo. Siempre ha existido y existirá por siempre. Ninguna persona sensata preguntará de dónde ha salido el Tiempo. Pese a toda la grandeza que lo rodeaba, nadie lo llamaba creador, porque aún no había habido creación. Entonces creó el fuego y el agua; y cuando los hubo juntado se dio origen a Ormuz, y en aquel mismo instante el Tiempo pasó a ser el Creador y el Señor de la creación propiciada por él. Ormuz era luminoso, puro, grato al olfato, bondadoso, y tenía poder sobre todo lo bueno. Entonces miró hacia abajo y vio a Arimán a noventa y seis mil parasangas de distancia, negro, repugnante, fétido y malvado; a Ormuz le pareció espantoso, pues era un enemigo terrible. Y cuando Ormuz vio a este enemigo, pensó: «Debo destruir a este enemigo por completo», y caviló con qué y con cuántos instrumentos podría destruirlo. Entonces Ormuz dio comienzo a la obra de la creación. Todo lo que hacía, lo hacía con el auxilio del Tiempo, pues todo lo importante que Ormuz necesitaba había sido creado ya^[7].

El tiempo, en tanto que pauta, supone diferencia, aunque sólo sea la diferencia entre el entonces y el ahora. De modo que esta leyenda, como casi todas las leyendas que describen una creación del mundo, trata en realidad de la aparición de la diferencia en el seno de una semejanza primigenia. En esta versión, como en muchos mitos de creación, la diferencia empieza por el choque de elementos opuestos.

Una de las soluciones más poéticas a estas paradojas es pensar en la creación como en una especie de despertar. Hay una leyenda de los karraru, población de Australia meridional, que dice que al principio la tierra estaba inmóvil, en silencio y a oscuras. Pero «en el interior de una profunda caverna que había debajo de Nullarbor Plain dormía una hermosa mujer, Sol. El Gran Padre Espíritu la despertó con dulzura y le dijo que saliese de la caverna e infundiera vida al universo. La Madre Sol abrió los ojos y la oscuridad fue desapareciendo conforme sus rayos cubrían la tierra; respiró y la atmósfera se transformó, el aire se agitó suavemente como cuando sopla una brisa ligera». La Madre Sol inicia entonces un largo viaje durante el que sus rayos van despertando a todos los animales y plantas que estaban dormidos^[8]. Esta leyenda sugiere que la creación no es un acontecimiento único, sino que ha de repetirse sin cesar; y esto, como veremos, es una verdad que todos experimentamos. Las paradojas de la creación reaparecen cada vez que observamos algo nuevo, sean galaxias, estrellas, sistemas planetarios o vida. Y muchos experimentamos además de nuestro propio origen personal, los momentos de nuestros recuerdos más antiguos, como una especie de despertar de la nada.

La ciencia moderna ha abordado el problema del origen de múltiples maneras, unas más satisfactorias que otras. En su *Historia del tiempo* (1988), Stephen Hawking sugiere que la cuestión del origen está mal planteada. Si concebimos el tiempo como una línea recta, es lógico preguntarse por su comienzo. Pero ¿y si el universo tuviera

otra forma? Puede que el tiempo se parezca más a una circunferencia. Es absurdo preguntar si una circunferencia tiene un principio o un final, del mismo modo que es absurdo preguntar qué hay al norte del Polo Norte. No hay más allá, no hay frontera, y todo lo que hay en el universo está dentro de él. Como dice Hawking: «Las condiciones límite del universo consisten en que no hay límites^[9]». Muchos mitos de creación adoptan una actitud parecida, quizás porque aparecen en sociedades que no conciben el tiempo como una línea recta. Cuando retrocedemos en el tiempo, el pasado parece perderse en lo que los mitos de los australianos modernos llaman «tiempo del sueño». Es como si el pasado doblara una esquina más allá de la cual no podemos ver nada, por mucho que nos esforcemos. Esto es igualmente válido cuando miramos al frente, así que en cierto modo es como si el pasado y el futuro pudieran juntarse^[10]. Mircea Eliade describe concepciones del tiempo parecidas en un libro difícil pero fascinante, *El mito del eterno retorno*, de 1954^[11].

En las sociedades modernas, que por lo general conciben el tiempo como una recta y no como una curva, estas soluciones pueden parecer artificiales. Es posible que el universo sea eterno. Podemos retroceder por la línea del tiempo todo lo que queramos, siempre habrá universo, de modo que no llega a plantearse realmente el problema del origen. Las religiones de la península indostánica tienden a adoptar esta estrategia. Lo mismo cabe decir de la teoría de la creación continua, que es la alternativa moderna más seria a la cosmología del *big bang*. Y lo mismo de una teoría reciente, propuesta por Lee Smolin, que supone la existencia de universos que generan otros universos allí donde se forman agujeros negros, en un proceso repetitivo o «algorítmico», semejante a la evolución darwiniana, que se encarga de que «evolucionen» para que aumenten las posibilidades de crear entidades complejas como nosotros (véase el capítulo 5).^[12] Estas argumentaciones son habituales en la cosmología moderna y lo que dan a entender es que el universo que vemos podría no ser más que un átomo diminuto de un «multiverso» mucho mayor. Pero estos enfoques son también insatisfactorios, porque dejan sin responder la sempiterna pregunta de cómo empezaron esos procesos eternos, de cómo fue creado un universo eterno.

También podemos volver a la idea de un creador. En el cristianismo se daba por sentado que el Creador hizo el universo hace unos miles de años. Con un cálculo que se ha hecho famoso, un tal doctor Lightfoot de Cambridge «demostró» que Dios había creado a los seres humanos exactamente a las nueve de la mañana del 23 de octubre de 4004 a. C.^[13] Otros mitos creacionistas tienen también divinidades que han creado el mundo trabajando como los alfareros, los albañiles o los relojeros. Este enfoque soluciona buena parte del problema, pero deja abierta la pregunta básica de cómo fueron creadas las divinidades en cuestión. Parece que, una vez más, nos vemos obligados a retroceder hasta el infinito.

Una posición terminal sería el escepticismo, que supone admitir sinceramente que cuando llegamos a cierto punto se nos agota el conocimiento. El conocimiento

humano tiene límites por naturaleza, de modo que algunos temas y problemas siguen siendo incógnitas. Unas religiones tratan estas incógnitas como si fueran secretos que los dioses optan por ocultar a los humanos, mientras que otras, como el budismo, las consideran enigmas finales que no vale la pena indagar. Veremos que la cosmología moderna prefiere también el escepticismo al principio de sus propias leyendas, aunque propone una versión muy segura de cómo evolucionó el universo, una vez creado.

PRIMERAS VERSIONES CIENTÍFICAS DEL UNIVERSO

La ciencia moderna se esfuerza por responder a la pregunta sobre el origen empleando datos escrupulosamente comprobados y una lógica rigurosa. Aunque muchos científicos pioneros, como Newton, eran cristianos que creían firmemente en la existencia de una divinidad, también creían que la divinidad era racional, de modo que su misión era desentrañar las leyes subyacentes mediante las que la divinidad había creado el mundo. Esto significaba explicar el mundo *como si no hubiera divinidades*. La ciencia moderna, a diferencia de casi todas las restantes modalidades de pensamiento, se esfuerza por explicar el universo como si fuera inanimado, como si los fenómenos se produjeran sin intención ni finalidad.

La concepción cristiana del universo debió mucho a las ideas de Aristóteles. Aunque algunos griegos habían sostenido que la Tierra daba vueltas alrededor del Sol, Aristóteles puso a la Tierra en el centro del universo y la envolvió en una serie de esferas transparentes que daban vueltas alrededor de ella a velocidades distintas. En estas esferas estaban los planetas, el Sol y las estrellas. Este modelo nos parece hoy pintoresco, pero Ptolomeo, del siglo II d. C., lo defendió con una rigurosa argumentación matemática que resultó muy útil para prever los movimientos de los planetas. El cristianismo añadió por su cuenta que Dios había creado este universo hace unos seis mil años, en el curso de cinco días. El sistema tolemaico comenzó a desmoronarse en Europa entre los siglos XVI y XVII. Copérnico dio algunas razones de peso para creer que la Tierra daba vueltas alrededor del Sol y el monje hereje Giordano Bruno adujo que las estrellas eran semejantes al Sol y que el universo era probablemente infinito. Ya en el siglo XVII, Galileo y Newton estudiaron las consecuencias de estas ideas, conservando la leyenda bíblica de la creación hasta donde pudieron.

El sistema tolemaico se hundió definitivamente en el siglo XVIII. En su lugar apareció una imagen distinta, la de un universo que funcionaba de acuerdo con unas leyes estrictas, racionales e impersonales que la ciencia, en principio, podía descubrir. Dios pudo haberlo creado en el tiempo o fuera del tiempo. Pero luego dejó que se rigiera casi totalmente por su propia lógica y sus propias reglas. Newton suponía que

tiempo y espacio eran absolutos y constituían el marco de referencia último del universo. En términos generales se admitía que los dos podían ser infinitos, lo que significaba que el universo no tenía límites concretos ni principio. Así se fue alejando a Dios progresivamente de la leyenda del origen.

Pero siguió habiendo problemas. Uno lo planteó la teoría de la termodinámica, que decía que la cantidad de energía utilizable del universo se reducía de manera constante (o que aumentaba la entropía; véase el apéndice 2). La inferencia era que en un universo infinitamente viejo no quedaría energía aprovechable para crear nada, lo cual, como podía comprobarse, no era verdad. Es posible que alguien pensara entonces que el universo podía no ser infinitamente viejo. Otro problema lo planteaba el cielo nocturno. Kepler señaló ya en 1610 que si hubiera una cantidad infinita de estrellas, el cielo nocturno sería completamente blanco. Este problema se denomina hoy paradoja de Olber, por el astrónomo alemán del siglo XIX que lo popularizó. Habría podido aducirse que el universo no era de tamaño infinito; esto habría solucionado la paradoja de Olber, pero habría creado otra; porque Newton había dicho que si el universo no fuera infinito, la gravedad atraería toda la materia hacia el centro del universo. Y eso, por suerte, no era lo que veían los astrónomos cuando observaban el cielo nocturno.

Como es natural, todas las teorías científicas contienen problemas. Pero pueden pasarse por alto si las teorías son capaces de responder a las preguntas que se les plantean. Y los problemas que entrañaba la teoría newtoniana se pasaron casi totalmente por alto en el siglo XIX.

EL BIG BANG: DEL CAOS PRIMORDIAL A LOS PRIMEROS INDICIOS DE ORDEN

Durante la primera mitad del siglo XX se acumularon indicios suficientes para formular una teoría alternativa que hoy llamamos cosmología del *big bang*. Solucionaba el problema de la entropía al sugerir que el universo no era infinitamente viejo; resolvía la paradoja de Olber postulando un universo que era finito en el tiempo y en el espacio; y eliminaba la paradoja de la gravedad al revelar que el universo se expandía demasiado aprisa (*¡por el momento!*) para que la gravedad lo redujera todo a una canica. La cosmología del *big bang* describía un universo con principio e historia, y de este modo transformó la cosmología en una disciplina histórica, en un relato de cambio y evolución.

Según esta concepción, el universo fue al principio una entidad diminuta que se expandió rápidamente y sigue expandiéndose en la actualidad. Este relato, por lo menos en la forma, se parece a los mitos de creación tradicionales que se denominan *mitos de surgimiento*. En estos relatos, el universo, semejante a un huevo o un embrión, parte de un punto de origen quizás indefinible y va creciendo por etapas, gobernado por las leyes internas del desarrollo. En 1927, Georges Lemaître, uno de

los primeros defensores de la cosmología del *big bang*, dio al universo primigenio el nombre de «átomo primitivo». Como todos los mitos de surgimiento, la leyenda moderna da a entender que el universo se creó en un tiempo concreto, que tiene una biografía propia y que puede morir en el futuro lejano. La nueva teoría podía explicar muchas de las dificultades con que tropezaban las teorías antiguas. Por ejemplo, podía explicar la paradoja de Olber demostrando que el universo no había existido siempre; y como la velocidad de la luz es finita (como había dicho Einstein), podía ocurrir que la luz de las galaxias más lejanas no llegara nunca hasta nosotros durante toda la vida del universo. La teoría era igualmente compatible con el alud de información sobre las estrellas, la materia y la energía que se produjo a comienzos del siglo xx. Pero en lo referente al principio, también lo dejaba envuelto en un halo de misterio inexplicable.

La historia moderna de los orígenes dice aproximadamente lo siguiente^[14]. El universo se formó hace unos 13 000 millones de años^[15]. (¿Y cuánto es esto? Si cada ser humano viviera exactamente la media bíblica de setenta años, harían falta doscientos millones de vidas humanas, puestas una detrás de la otra, para abarcar el tiempo que hay entre la actualidad y aquel comienzo. Para más detalles sobre las grandes escalas, véase el apéndice 1). De aquel principio no podemos decir nada con seguridad, salvo que entonces apareció algo. No sabemos por qué ni cómo. No hay forma de saber si existió algo antes. Ni siquiera se puede afirmar que hubiera un «antes» o un «espacio» para que algo lo habitara, porque (y éste es un argumento adelantado ya por san Agustín, en el siglo v de nuestra era) es posible que el tiempo y el espacio se crearan en el mismo instante que la materia y la energía. De modo que no podemos afirmar nada concreto sobre el instante del *big bang* ni sobre ningún período anterior.

Sin embargo, transcurrida una mínima fracción de segundo del *big bang*, la ciencia moderna nos brinda una historia coherente y rigurosa, basada en abundantes indicios. Muchos de los «acontecimientos» más relevantes se produjeron en una fracción de segundo. La verdad es que sería útil creer que el tiempo se dilató durante aquellos instantes iniciales y que una trillonésima de segundo fue entonces tan importante, a su manera, como varios miles de millones de años de historia posterior^[16].

Al principio, el universo era muy pequeño, quizá menor que un átomo. (¿Y cuánto mide un átomo? El físico Richard Feynman ejemplificó el tamaño del átomo diciendo que si hincháramos una manzana hasta que tuviese el tamaño de la Tierra, cada uno de sus átomos tendría al final el mismo tamaño que la manzana del principio^[17]). La temperatura de este universo atomizado era de muchos billones de grados. A esta temperatura, materia y energía son intercambiables, porque, como demostró Einstein, la materia es poco menos que energía congelada. En este flujo de energía/materia fabulosamente denso nos aproximamos al caos primordial de tantos mitos de creación tradicionales. Pero según la versión moderna, este universo

diminuto crecía a velocidad de vértigo y fue este crecimiento lo que originó las primeras diferencias y las primeras pautas^[18]. La teoría de la inflación afirma que durante una fracción de segundo, entre alrededor de 10^{-34} y 10^{-32} segundos después del *big bang*, el universo creció a una velocidad superior a la de la luz (que es de unos 300 000 kilómetros por segundo), impulsado por una forma de «antigravedad». Las magnitudes abarcadas por estos procesos son inconcebibles; antes de la inflación, el universo pudo haber sido menor que un átomo; después (una fracción de segundo más tarde) es posible que tuviera ya el tamaño de una galaxia. La inflación parece garantizar que la mayor parte del universo esté fuera de nuestro alcance, ya que la luz de la mayor parte del universo está demasiado alejada para llegar algún día hasta nosotros. Es posible que las partes del universo que podemos ver representen sólo una porción muy pequeña del universo total. Como ha dicho Timothy Ferris: «Si la totalidad del universo inflacionario equivaliese a la superficie de la Tierra, la parte observable sería menor que un protón^[19]».

Conforme crecía, el universo se iba volviendo menos homogéneo. Su simetría inicial se rompió, aparecieron varios modelos, y la energía y la materia comenzaron a adoptar formas que podemos reconocer en la actualidad. La física nuclear moderna sabe a qué temperaturas aparecen tipos concretos de energía o de materia, del mismo modo que casi todos sabemos a qué temperatura se congela el agua. Así, si podemos calcular a qué velocidad se enfrió el universo, podemos averiguar cuándo surgieron fuerzas y partículas del flujo del universo primitivo. Durante el primer segundo aparecieron los quarks y con ellos se formaron protones y neutrones, que son los principales componentes de los núcleos atómicos. Quarks y núcleos se soldaron en virtud de la fuerza nuclear fuerte, una de las cuatro fuerzas básicas que rigen nuestro universo.

En este punto de la moderna historia de la creación (todavía menos de una milésima de segundo después del *big bang*) se produce un despliegue de extravagancia que resulta llamativa incluso comparada con las extravagancias que son normales en casi todos los mitos de creación. Las partículas se presentaban bajo dos formas y las cantidades de materia y antimateria eran casi iguales. Las partículas de antimateria eran idénticas a las de la materia; la única diferencia era que tenían carga negativa opuesta. Por desgracia, cuando se encontraban, se destruían entre sí y el ciento por 100 de su masa se transformaba en energía. Así pues, durante el primer segundo que siguió al *big bang* hubo una retorcida velada subatómica durante la que se jugó a las sillas; los quarks eran los jugadores y los antiquarks las sillas, y ganaba el quark (uno entre mil millones) que no conseguía sentarse. La materia que quedó para construir el universo estaba formada por aquellas rarísimas partículas que no habían encontrado antipartícula. Las que sí la habían encontrado se habían transformado en energía pura, una energía que domina actualmente el universo en forma de radiación cósmica de fondo^[20]. Y este proceso explica por qué hay

alrededor de mil millones de fotones de energía por cada partícula de materia que hay en la actualidad en el universo.

La velocidad se fue reduciendo. Unos segundos después del *big bang* aparecieron los electrones. La carga eléctrica de los electrones es negativa, mientras que la de los protones (que están hechos de quarks) es positiva. Las relaciones entre los electrones y los protones quedó regulada por otra fuerza fundamental, la electromagnética, que también apareció durante el primer segundo de vida del universo. En aquel caliente universo inicial, los fotones de energía que portaban la fuerza electromagnética se vincularon con partículas de materia. El universo era entonces como el interior del Sol en la actualidad: un incandescente océano de partículas y fotones en interacción incesante. El universo entero ardía con la energía generada por las interacciones de los protones, los electrones y la luz. En esta «era de radiación», como dice Eric Chaisson, la materia existente no sobrepasaba el estado de «un precipitado microscópico, relativamente tenue, suspendido en una fulgurante “niebla” macroscópica de densa radiación^[21]».

Al cabo de 300 000 años aproximadamente, la temperatura media del universo bajó a unos 4000 grados centígrados por encima del cero absoluto y este enfriamiento permitió una de las transiciones más importantes de la historia del universo^[22]. Los momentos de transición son tan misteriosos como los orígenes, y se han producido a lo largo de toda nuestra historia. Uno de los ejemplos más comunes de la vida cotidiana es la que tiene lugar cuando el agua se evapora. El agua se calienta y lo único que sucede durante un rato es que se pone más caliente. El cambio se produce gradualmente y podemos verlo. De pronto se cruza un umbral; se forma algo nuevo y todo el sistema entra en una fase diferente. Lo que antes era líquido ahora es gaseoso. ¿Por qué debería haber un umbral en este punto concreto, en este caso a los 100 grados centígrados (al nivel del mar)? Unas veces podemos explicar las transiciones entre dos estados y la respuesta afecta por lo general al cambiante equilibrio entre fuerzas diferentes: la gravedad, la presión, el calor, las fuerzas electromagnéticas, etc. Pero otras no sabemos por qué se cruza un umbral en ese punto concreto.

El final de la era de la radiación es una transición que los físicos explican mejor o peor como fruto del equilibrio entre la menguante energía de los fotones y las fuerzas electromagnéticas operantes a nivel subatómico. Al expandirse el universo, se enfrió y la energía de la luz que fluía por él disminuyó lo suficiente para permitir que los protones, de carga positiva, capturasen electrones y formaran átomos estables, eléctricamente neutros. A causa de esta neutralidad, los átomos dejaron de interaccionar con fuerza con los fotones, aunque siguió habiendo interacciones a niveles más sutiles. El resultado fue que los fotones pudieron fluir libremente por el universo. Materia y energía dejaron de interaccionar a casi todos los efectos. Pasaron a ser reinos diferentes, como la materia y el espíritu en las cosmologías del mundo judeocristiano e islámico. La era que siguió a este divorcio podría denominarse «era de la materia^[23]».

Los primeros átomos eran muy sencillos. Casi todos eran de hidrógeno, que consisten en un protón y un electrón. Pero la tercera parte eran átomos de helio, que constan de dos protones y dos electrones, y trazas de átomos más pesados. Todos los átomos son diminutos y su diámetro viene ser la diezmillonésima parte de un centímetro. Pero casi todo su interior está vacío. Los protones y los neutrones están escondidos en el núcleo, mientras que los electrones dan vueltas a su alrededor a mucha distancia de ellos. En palabras de Richard Feynman: «Si tomáramos un átomo y quisieramos ver su núcleo, tendríamos que aumentar su tamaño hasta que tuviera las dimensiones de una sala y aun así el núcleo sería una pequeña mota apenas perceptible a simple vista, a pesar de lo cual *casi todo el peso* del átomo está en ese núcleo infinitesimal^[24]». Trescientos mil años después de su formación, el universo seguía siendo simple. Consistía básicamente en espacio vacío en el que flotaban grandes nubes de hidrógeno y helio y en el que se volcaban cantidades tremendas de energía.

TABLA 1.1. CRONOLOGÍA DEL UNIVERSO PRIMITIVO.

<i>Tiempo desde el big bang</i>	<i>Acontecimientos relevantes</i>
10^{-43} segundos	«Tiempo de Planck»; el universo es menor que la «longitud de Planck», la longitud más pequeña con significado físico; no se puede decir nada sobre lo que sucedió antes, pero la gravedad aparece ya como una fuerza fundamental definida.
10^{-35} segundos	Aparecen las fuerzas «fuerte» y «electromagnética» como fuerzas fundamentales definidas.
$10^{-33} - 10^{-32}$ segundos	«Inflación»: el universo se expande más aprisa que la luz y se enfriá hasta llegar casi al cero absoluto.
h. $10^{-10} - 10^{-6}$ segundos	Al separarse las fuerzas fundamentales, el universo se vuelve a calentar; se forman quarks y antiquarks y se destruyen entre sí; los quarks supervivientes quedan encerrados en protones y neutrones (cuya masa total es la milmillonésima parte de la masa precedente de quarks y antiquarks).
1-10 segundos	Se forman pares de electrones-positrones y se destruyen (dejando un residuo equivalente a la milmillonésima parte de la masa de electrones y positrones que había antes).
3 minutos	Con protones y neutrones se forman núcleos de hidrógeno y helio.
300.000 años	Los protones capturan electrones y se forman átomos; el universo se vuelve eléctricamente neutro y se separan materia y radiación; la radiación se libera en forma de explosión detectable hoy en la radiación cósmica de fondo.

FUENTES: Cesare Emiliani, *The Scientific Companion: Exploring the Physical World With Facts, Figures, and Formulas*, John Wiley, Nueva York, 1995², p. 82; y véase la parecida cronología que aparece en Stephen Hawking, *The Universe in a Nutshell*, Bantam, Nueva York, 2001, p. 78.

En la tabla 1.1 hay una breve cronología de la historia inicial del universo. Unos 300 000 años después del *big bang* estaban presentes todos los ingredientes de la creación: el tiempo, el espacio, la energía y las partículas básicas de la materia, a saber, protones, electrones y neutrones, ya organizados casi totalmente en átomos de hidrógeno y helio. Desde entonces no ha cambiado prácticamente nada. Hoy hay la misma energía y la misma materia que entonces. Lo único que ha cambiado es que en los 13 000 millones de años siguientes los elementos citados se han organizado en estructuras que se forman y deshacen continuamente. En cierto modo, el resto del mito moderno no es más que la historia de esas estructuras.

Pero dichas estructuras son de gran importancia para nosotros, dado que somos organismos detectores de estructuras. Las estructuras que aparecieron son las estrellas y las galaxias, los elementos químicos, el sistema solar y todos los organismos vivos que pueblan la Tierra, entre los que estamos nosotros, naturalmente. Como dicen que expuso cierto ingenioso anónimo: «El hidrógeno es un gas ligero e inodoro que, con tiempo suficiente, se convierte en ser humano^[25]». Desde este punto de vista, el mito moderno de la creación es tan paradójico como cualquier mito de la antigüedad. Nada cambia, pero todo se transforma. Aunque hay seres y objetos que parecen vivir independientemente de los demás, y poseer características distintivas particulares, también es verdad que en el fondo todos son iguales. La idea de que forma y materia son expresiones de la misma sustancia se debe a Giordano Bruno, que la expuso en un libro de 1584 titulado *De la causa, principio y uno*. Pero es una idea que se encuentra también en muchas filosofías y religiones. Según uno de los textos budistas más venerados, el Sutra del Corazón, «la forma es vacío y el vacío forma. El vacío es sólo forma; la forma sólo es vacío^[26]». Uno de los temas principales del capítulo siguiente será cómo se formaron las estructuras a partir del caos aparente del universo primitivo.

PRUEBAS DE LA COSMOLOGÍA DEL BIG BANG

Dejemos las especulaciones metafísicas y volvamos al prosaico pero decisivo terreno de las pruebas. ¿Por qué los astrónomos modernos aceptan lo que a simple vista parece una historia absurda? ¿Por qué tenemos que tomárnosla en serio? La breve respuesta es que, a pesar de toda su rareza, la versión moderna de la formación del universo se basa en cantidades ingentes de pruebas.

Hubble y el desplazamiento hacia el rojo

La primera prueba fundamental se encontró estudiando el tamaño y la forma del universo. Cartografiar el universo consiste en determinar la distancia que hay entre las estrellas, el orden que presentan y la interrelación de sus movimientos. Los intentos modernos de cartografiar científicamente el universo se remontan a finales del siglo XIX.

Averiguar las distancias estelares es muy difícil. Sin embargo, aplicando una trigonometría elemental y midiendo con exactitud la paralaje de un cuerpo celeste es posible calcular la distancia de las estrellas cercanas. La línea de referencia más larga de los astrónomos situados en la Tierra es la propia órbita del planeta alrededor del Sol; en consecuencia, los astrónomos buscan estrellas que parezcan desplazarse cuando se observan con intervalos de seis meses. Pero incluso este método necesita unas mediciones demasiado exactas para los recursos que tenían los astrónomos anteriores al siglo XIX (véase la figura 1.1).

Cuando se trata de estrellas lejanas, tenemos que confiar en métodos menos exactos aún. En la primera década del siglo XX, la astrónoma estadounidense Henrietta Leavitt analizó algunas estrellas variables, es decir, estrellas cuyo brillo cambia según un ciclo regular. Así averiguó que en una clase concreta de estrellas variables, las llamadas cefeidas, el ciclo reflejaba el tamaño y el brillo. Lo que hacía que las cefeidas alternaran los períodos de fulgor con los de opacidad era su movimiento de expansión y contracción. Leavitt demostró que las cefeidas mayores (y, por lo tanto, las más brillantes) se expanden y contraen más lentamente. Así pues, midiendo la longitud del ciclo, los astrónomos podrían calcular el tamaño y, por lo tanto, el brillo real (o luminosidad intrínseca) de cada cefeida. Luego, midiendo su brillo aparente desde la Tierra, se podría calcular cuánta luz se había perdido al viajar hacia nuestro planeta y, por lo tanto, a qué distancia estaba realmente la estrella.

Ya en los años veinte, otro astrónomo estadounidense, Edwin Hubble, cartografió vastas zonas del universo con el telescopio de Monte Wilson y tomando las cefeidas como punto de referencia. Lo primero que averiguó fue que muchas cefeidas parecían estar fuera de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Esto quería decir que en el universo no había sólo una galaxia, sino muchas, lo cual venía a corroborar una idea que el filósofo Immanuel Kant había propuesto casi dos siglos antes. (Kant sugirió en concreto, y muy acertadamente, que los objetos que los astrónomos llamaban «nebulosas» eran más bien galaxias, muy alejadas de la nuestra). Esta idea, anunciada por Hubble en 1924, representó una revolución en la astronomía moderna. Al cabo de unos años, el mismo Hubble intuyó algo más revolucionario aún y de mayor alcance. A finales de los años veinte descubrió que las galaxias más distantes parecían alejarse de nosotros. La verdad es que cuanto más lejos estaban, más aprisa parecían apartarse de la Vía Láctea. Hoy sabemos que las galaxias observables que están más distantes de nosotros se alejan a más del 90 por 100 de la velocidad de la luz. ¿Cómo lo supo Hubble? ¿Y qué consecuencias tuvo su extraña observación?

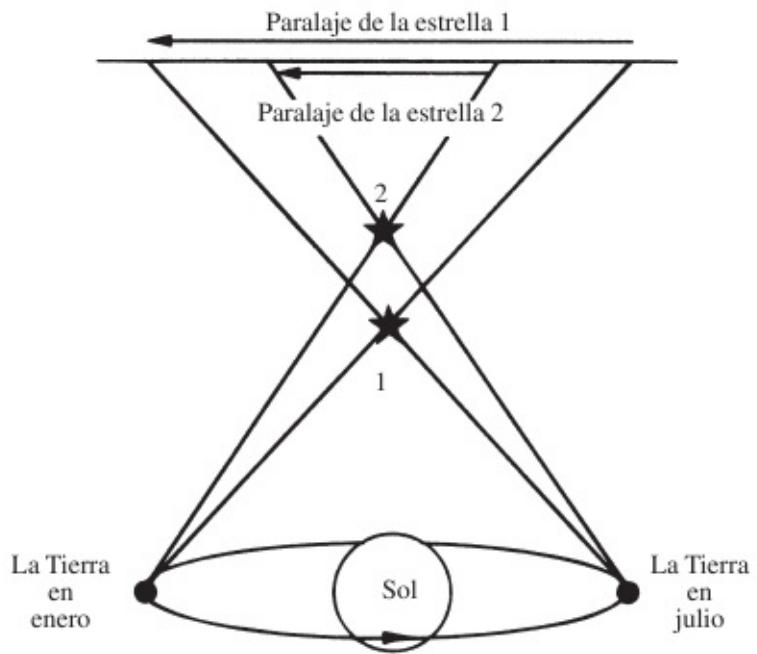


FIGURA 1.1. Paralaje: medición de la distancia de las estrellas con trigonometría elemental. La Tierra cambia de lugar en el cielo cada seis meses. En consecuencia, las estrellas más cercanas parecen desplazarse durante el año; cuanto más cerca están, mayor parece su desplazamiento desde la Tierra. La diferencia entre las posiciones aparentes de una misma estrella se denomina *paralaje*. Midiendo escrupulosamente estos cambios de posición, con una sencilla operación trigonométrica podemos averiguar la distancia real a la que está la estrella. Éste fue el primer método que se empleó para determinar la escala real del cosmos. Si las estrellas están muy lejos, los ángulos son demasiado pequeños para que funcione este método, de modo que hay que utilizar otros. De Ken Croswell, *The Alchemy of the Heavens*, Oxford University Press, Oxford, 1996, p. 16. Con permiso de Doubleday, división de Random House, Inc.

Por raro que parezca, es más fácil averiguar si los objetos distantes se acercan o se alejan que medir la distancia exacta que los separa de nosotros. La técnica que hay que emplear es elegante y poco complicada. Si analizamos en un espectrómetro la luz de una estrella lejana, veremos las distintas partes que componen su espectro. La luz se filtra por un prisma y las diferentes frecuencias forman ángulos diferentes, de suerte que, al salir del prisma, aparecen formando bandas de colores, como un arco iris. Cada banda, o color, representa una frecuencia luminosa, luz con una energía concreta. Separadas las frecuencias, cada nivel de energía se puede analizar independientemente. En los espectros estelares, incluido el del Sol, aparecen líneas estrechas y oscuras en relación con determinadas frecuencias. Los estudios de los laboratorios han revelado que estas líneas se producen porque la luz, al acercarse a nosotros, atraviesa materiales que absorben la energía de frecuencias concretas, de modo que cuando aquélla nos alcanza está muy debilitada. Estas líneas oscuras se denominan líneas de absorción. Cada línea de absorción corresponde a un elemento químico concreto, que absorbe la energía de la luz de una frecuencia determinada. Lo que esto significa es extraordinario, porque analizando las líneas de absorción de la luz estelar podemos calcular qué elementos hay en una estrella y en qué cantidades. El conocimiento moderno sobre el funcionamiento de las estrellas (véase el capítulo 2) se basa en gran medida en estos estudios.

Más extraordinario aún es que los espectros estelares pueden informarnos de si una estrella se nos acerca o se aleja, y a qué velocidad. El principio de base es el efecto Doppler, ese mismo efecto que hace que la sirena de una ambulancia se oiga más aguda cuando el vehículo se acerca a nosotros y más grave cuando nos rebasa y se aleja. Si un objeto móvil (como una ambulancia) emite energía en ondas (como las del sonido), estas ondas se comprimen cuando el objeto se dirige hacia nosotros y se alargan cuando se aleja. Si estamos en una playa y nos adentramos en el agua, nos llegarán más olas que si estamos inmóviles. Pero si estamos saliendo del agua, las olas nos llegarán con menos frecuencia. Este principio es igualmente válido para el espectro de la luz. Al analizar la luz de las estrellas, las líneas de absorción suelen tener una posición distinta de la que se espera en un laboratorio. Por ejemplo, la línea de absorción correspondiente al hidrógeno podría desplazarse a una frecuencia superior, comprimiendo sus ondas (o acercándolas al extremo azul del espectro). También podría desplazarse a una frecuencia inferior (más próxima al extremo rojo del espectro), en cuyo caso las ondas lumínicas se estirarán. Hubble detectó ambas clases de desplazamiento. Y como observaba los objetos más lejanos, se dio cuenta de que en todos se producía un desplazamiento hacia el extremo rojo del espectro. En otras palabras, parecían estirarse, como si se alejaran de nosotros. Y cuanto más lejos estaban, mayor era el desplazamiento hacia el rojo.

Las consecuencias del descubrimiento de Hubble son impresionantes, pero fáciles de entender. Cuanto más lejos está una galaxia de la Tierra, más aprisa se aleja de ella, aunque las estrellas de la Vía Láctea y otras galaxias cercanas se mantienen unidas por obra de la gravedad. No hay motivo para creer que vivamos en una región aberrante del universo. Los modernos mapas de las galaxias indican más bien que el universo es muy homogéneo en las escalas mayores. Por lo tanto, hay que suponer que cualquier observador extraterrestre advertiría asimismo que algunas partes del universo parecen alejarse de él. Y esto sólo puede significar que el conjunto del universo se está expandiendo. Si el universo está en expansión, tiene que haber sido antes más pequeño de lo que es hoy. Retrocediendo en el tiempo con esta lógica no tardaremos en comprender que en algún momento del remoto pasado tuvo que haber tenido un tamaño microscópico. Esta argumentación conduce directamente a la conclusión básica de la moderna cosmología del *big bang*: que el universo fue antaño infinitesimalmente pequeño y que se expandió, y sigue expandiéndose en la actualidad. El trabajo de Hubble aportó la primera y hasta hoy más contundente prueba de la cosmología del *big bang*.

Hubble demostró además que midiendo la velocidad de expansión podía calcularse el tiempo que llevaba expandiéndose el universo. Fue una conclusión extraordinaria, porque parecía anunciar algo completamente inesperado. ¡Hubble había encontrado la forma de saber la edad del universo! Al principio calculó que la velocidad de expansión (o *constante de Hubble*) era de unos 500 kilómetros por segundo por cada megaparsec que hubiera entre dos objetos. (Un megaparsec es la

distancia que recorre la luz en 3,26 millones de años, es decir, aproximadamente $30,9 \times 10^{18}$ km, unos 30 trillones de km). Pero esta cantidad daba a entender que el universo tenía sólo alrededor de dos mil millones de años. Hoy sabemos que eso es imposible, ya que la Tierra tiene por lo menos dos veces esa antigüedad. Los cálculos modernos dan un valor inferior a la constante de Hubble y suponen un universo más antiguo. Pero la determinación de la antigüedad exacta sigue siendo problemática, sobre todo por la extrema dificultad de averiguar la distancia que nos separa de las galaxias lejanas. Los cálculos modernos, que se sirven de varios marcadores de distancias además de las cefeidas, sugieren que la constante de Hubble está entre 55 y 75 km/segundo por megaparsec. Estas cantidades presuponen que el universo tiene entre 10 000 y 16 000 millones de años y los cálculos más recientes parecen converger en la cifra de 13 000 millones^[27]. Para simplificar las cosas, será esta cantidad la que empleemos en este libro.

La relatividad y la física nuclear

A principios del siglo xx casi todos los astrónomos seguían pensando que el universo era infinito, homogéneo y estable. Las conclusiones de Hubble se habrían acogido como extravagancias si no hubiera habido otros hechos que estaban desacreditando la imagen tradicional. Uno fue la publicación de la teoría de la relatividad de Einstein. Los detalles de esta teoría no interesan aquí, pero una de sus consecuencias era la posibilidad de que el universo fuera inestable en las escalas mayores. Las ecuaciones de Einstein venían a decir que el universo, a semejanza de un alfiler que se deja en posición vertical, tenía que caer hacia un lado o hacia otro. Tenía que estar expandiéndose o contrayéndose; un universo totalmente equilibrado era harto improbable. El propio Einstein era reacio a admitir esta conclusión. Luego dijo que fue el mayor error de su vida, pero para defender la idea de un universo estable llegó a modificar su teoría proponiendo la existencia de una fuerza que denominó «constante cosmológica». Imaginó esta fuerza como una especie de antigravedad que podía contrarrestar la gravedad e impedir que el universo se hundiera hacia su propio centro. Sin embargo, en 1922 el ruso Alexander Friedmann demostró que el universo podía estar realmente expandiéndose o contrayéndose. Al final, incluso Einstein admitió la idea de que el universo era inestable y estaba en evolución.

Pero se tardó algún tiempo en comprender las consecuencias de estos hallazgos. La idea de un universo en expansión todavía parecía estrañamente en los años cuarenta. Entre los años cuarenta y sesenta se acumularon indicios que apoyaban la idea y a finales de esta última década la teoría del *big bang* era ya la versión canónica del origen del universo. A finales de los años cuarenta, y basándose en parte del conocimiento adquirido con las investigaciones sobre la bomba atómica, algunos

físicos estadounidenses, entre ellos George Gamow, se pusieron a desarrollar las consecuencias de esta nueva concepción del universo. ¿Cómo sería un universo microscópico? Saltaba a la vista que tenía que estar muy caliente: así como un neumático de bicicleta se calienta cuanto más aire se le introduce, el universo, con toda la materia y energía comprimidas en un espacio tan reducido, tuvo que haber alcanzado temperaturas altísimas. Los detalles de cómo pudo comportarse la materia en estas condiciones no nos afectan. Lo que nos interesa es que científicos como Gamow y luego Fred Hoyle (que acabó siendo un crítico encarnizado de la cosmología del *big bang*) no tardaron en percatarse de que, basándose en las ideas vigentes entonces sobre el funcionamiento de la energía y la materia a diferentes temperaturas, podían hacer algunos cálculos sobre el comportamiento del universo primitivo. Y los resultados tenían coherencia. Averiguaron que se podía elaborar una imagen muy convincente de la formación del universo temprano, dando por sentada la teoría del *big bang*. Concretamente se podía calcular, aunque de manera aproximada, qué formas de energía y materia pudieron haber existido en el universo primitivo y cómo pudo haber evolucionado este universo conforme se expandía y enfriaba. No tardó en comprenderse que la idea de un universo primigenio denso y caliente era totalmente compatible con todo lo que se sabía en el incipiente campo de la física de partículas.

La radiación cósmica de fondo

Lo que finalmente convenció a la mayoría de los astrónomos para que aceptaran la teoría del *big bang* fue el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo (RCF). Las primeras teorías sobre el desarrollo del *big bang* habían sugerido que las partículas y las fuerzas pasaron a tener una existencia estable cuando la temperatura descendió y alcanzó un nivel que les permitió vivir. Como hemos visto, durante cientos de miles de años hubo demasiada energía y demasiado calor en el universo para que se formaran átomos. Pero al final la temperatura bajó lo suficiente para que los protones (que tienen carga eléctrica positiva) capturasen electrones (que tienen carga negativa). En este punto, la materia se volvió eléctricamente neutra y la energía y la luz fluyeron libremente por el universo. Los primeros teóricos de la cosmología del *big bang* dijeron que en aquel momento tuvo que haber una colosal liberación de energía cuyos restos deberían poder detectarse en la actualidad.

Una prueba de la cautela con que los científicos enfocaban todavía la idea del *big bang* es que ninguno buscó en serio esa energía de fondo. Arno Penzias y Robert Wilson, que trabajaban en los Laboratorios Bell de Nueva Jersey, la encontraron por casualidad en 1964. Estaban construyendo unas antenas de radio de alta sensibilidad y comprobaron que era imposible eliminar todo el «ruido» de fondo que recogían. Al final se dieron cuenta de que, las orientaran hacia donde las orientasen, las antenas

siempre recogían un débil zumbido de energía débil. ¿Qué podía estar emitiendo energía desde todas las direcciones al mismo tiempo? Si la energía hubiera procedido de una estrella o una galaxia concreta habría sido normal, pero que llegara de todas partes, y en tal cantidad, carecía de lógica. Porque la señal era débil, pero cuando se sumaba toda la energía que representaba, el total era fantástico. Hablaron de su descubrimiento con un radioastrónomo que había oído decir al cosmólogo P. J. E. Peebles que tenían que existir restos de radiación con un nivel de energía correspondiente a una temperatura de unos tres grados centígrados por encima del cero absoluto. Esto se acercaba mucho a la temperatura de la radiación propugnada por Penzias y Wilson. Habían encontrado la explosión de energía predicha por los primeros teóricos del *big bang*.

Este descubrimiento fue decisivo, porque lo único que podía explicar con claridad y sencillez aquella poderosa fuente de energía universal era la teoría del *big bang*. Después de 1965, pocos astrónomos dudaban ya que la teoría del *big bang* fuera la mejor explicación del origen del universo. Actualmente es la idea fundamental de la astronomía, el paradigma que unifica las teorías e ideas de la astronomía moderna. Y la radiación cósmica de fondo es la piedra angular de la cosmología actual: los proyectos de cartografiar sus pequeñas variaciones deberían darnos a corto plazo la mejor información que se ha tenido hasta la fecha sobre la naturaleza del universo primitivo. (El cosmólogo Max Tegmark ha dicho que «el fondo de microondas cósmicas es a la cosmología lo que el ADN a la biología^[28]»). En junio de 2001 se lanzó una sonda, la Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, con la misión de describir las mencionadas variaciones con una precisión superior a todo lo intentado hasta entonces^[29].

Pruebas de otra clase

Desde el descubrimiento de la RCF ha habido más indicios que apoyan la teoría del *big bang*. Por ejemplo, esta teoría presupone que el universo primitivo estaba compuesto básicamente por elementos simples, sobre todo por hidrógeno (alrededor del 76 por 100) y helio (alrededor del 24 por 100). Estos porcentajes son aproximadamente los que observamos en el universo actual (aunque la cantidad de hidrógeno ha descendido aproximadamente al 71 por 100 porque las reacciones del interior de las estrellas han convertido el hidrógeno en helio, que actualmente suma alrededor del 28 por 100 de toda la materia). El predominio químico del hidrógeno y el helio no es un dato percibido por nosotros de manera inmediata, ya que vivimos en un rincón del universo donde hay altas concentraciones de otros elementos (véanse los capítulos 2 y 3), a pesar de lo cual es un hecho presente en todas partes. El hidrógeno es con diferencia el elemento más común, incluso en nuestro cuerpo. Como han dicho Lynn Margulis y Dorion Sagan: «Nuestro cuerpo de hidrógeno

refleja un universo de hidrógeno^[30]. Además se han hecho mediciones muy exactas de las pequeñas cantidades de litio aparecidas en el *big bang*, y también éstas se aproximan mucho a las cantidades previstas por las teorías de la formación de elementos durante el *big bang*.

Tenemos también el hecho de que ni las observaciones astronómicas ni las técnicas radiométricas de datación (véase el apéndice 1) pueden identificar objetos que tengan más de 12 000 millones de años. Aunque el universo fuera realmente mucho más antiguo (pongamos doscientos o trescientos mil millones de años), sería muy extraño que no hubiera objetos que rebasaran la antigüedad tope de los 12 000 millones de años.

Por último, la teoría del *big bang* —a diferencia de su principal competidora, la teoría de la creación continua— da a entender que el universo ha cambiado con el paso del tiempo. Esto significa que las partes más lejanas del universo tienen que ser distintas de las más cercanas, porque cuando observamos objetos que están, por ejemplo, a 10 000 millones de años luz, lo que en realidad observamos es el universo tal como fue hace 10 000 millones de años. Como veremos, los objetos lejanos se diferencian del universo moderno en más de un sentido que nos afecta. Por ejemplo, el universo primitivo contenía muchos más cuásares (véase el capítulo 2) que el universo actual.

¿Cuánta confianza merece la cosmología del big bang?

¿Es verdadera? De ninguna teoría científica puede decirse que sea absolutamente verdadera. Y esta teoría tropieza con varias dificultades, algunas muy técnicas. Pero ninguna parece insuperable por el momento.

En la última década del siglo xx se creyó durante un tiempo que había estrellas que eran más antiguas que el universo visible, un dato que, en opinión de algunos astrónomos, arrojaba serias dudas sobre toda la teoría del *big bang*. Las observaciones posteriores efectuadas por el telescopio Hubble han demostrado que era un indicio falso. Las estrellas más antiguas parecen tener en la actualidad unos mil millones de años menos que la edad del universo tal como la determinan los cálculos más recientes de la constante de Hubble. ¡Una buena noticia para la cosmología del *big bang*! Pero hubo una noticia menos halagüeña cuando, poco antes del cambio de siglo y de milenio, los estudios de las supernovas de tipo I-a (véase el capítulo 2) revelaron que la velocidad de expansión del universo, lejos de reducirse por efecto de la gravedad, está aumentando. Si estas observaciones son correctas, resultan asombrosas, porque parecen dar a entender que existe una fuerza desconocida hasta ahora que viene ejerciéndose de manera incesante desde el *big bang* y que mantiene y acelera la velocidad de expansión, pero que al mismo tiempo es demasiado débil para detectarse. Una posibilidad es que esta fuerza sea «energía

de vacío», una fuerza prevista por la mecánica cuántica que al parecer funciona en sentido opuesto a la gravedad y que separa y disgrega la materia y la energía en vez de concentrarlas. Si es así, sus efectos podrían ser casi idénticos a los de la constante cosmológica de la hipótesis de Einstein^[31]. El dato podría introducir una abultada cuña en la maquinaria de la cosmología del *big bang*, aunque por otro lado podría aportar una solución inesperada al problema de la materia oscura (véase el capítulo 2), porque la energía de vacío, al igual que toda la energía, tiene masa, y ésta podría corresponder a una cantidad importante de la materia que los astrónomos andan buscando. Y tenemos también el peliagudo problema del origen. Todo nuestro conocimiento científico se viene abajo cuando se trata del inicio del *big bang*. La densidad del universo parece moverse hacia el infinito, al igual que su temperatura, y la ciencia moderna no tiene medios adecuados para abordar estos fenómenos, aunque dispone de muchas ideas prometedoras.

Lo que nos estimula a tomar en serio la teoría, a pesar de estas dificultades, es que resulta compatible con casi todo el conocimiento empírico y teórico acumulado por la astronomía y la física de partículas. Y es la teoría que explica más cosas. Que los científicos hayan elaborado una teoría lógica compatible con tantos indicios y capaz de explicarnos qué ocurrió durante los primeros minutos de la historia del universo ya es de por sí una hazaña asombrosa. No la vuelve menos notable comprender que las investigaciones del futuro modificarán indudablemente la forma actual de la teoría, quizás de un modo decisivo.

NOTA SOBRE LA NOTACIÓN EXPONENCIAL

La ciencia moderna suele barajar cantidades muy grandes y números muy elevados. Escribir, por ejemplo, mil cuatrillones con números ocuparía mucho espacio (para ver cuánto, léase el párrafo siguiente), por eso los científicos utilizan lo que ellos llaman *notación exponencial*; en este capítulo ya han aparecido cantidades abreviadas con esta útil taquigrafía matemática. Véase cómo funciona^[32]. Cien es 10 multiplicado por 10 o 10 elevado a la segunda potencia. En notación exponencial, en vez de poner 100 pondremos 10^2 . Mil es 10 elevado a la tercera potencia, en consecuencia escribiremos 10^3 ; y así sucesivamente. Para convertir la notación exponencial en notación normal hay que poner primero un 1 y a continuación la cantidad de ceros que indique la potencia. Mil (10^3) será por tanto un 1 seguido de tres ceros; y un billón (un millón de millones) será 10^{12} , es decir, un 1 seguido de doce ceros: 1 000 000 000 000. También podemos utilizar esta notación para representar las cantidades pequeñas. Una centésima (1/100 o 1 por 100) se escribirá 10^{-2} y una milésima (1/1000) 10^{-3} . El sistema sirve igualmente cuando las cantidades no son múltiplos de diez. Así, una cantidad como 13 billones de años se puede

enfocar como un billón de años multiplicado por 13 y en notación exponencial se escribirá 13×10^{12} años.

Lo fundamental es que aumentar la potencia en una unidad multiplica por diez la cantidad anterior. Así, 10^3 no es un poco mayor que 10^2 : es diez veces mayor. Del mismo modo, 10^{18} (un trillón) no es el doble de 10^9 (mil millones), sino una cantidad mil millones (10^9) de veces mayor; y es diez veces mayor que 10^{17} . La notación exponencial es una forma aparentemente sencilla de describir cantidades astronómicas que nos harían perder la cuenta de los ceros. Se puede consignar la masa de un átomo de hidrógeno en notación exponencial diciendo que es $1,7 \times 10^{-27}$ kilos. En números normales no es más que una fracción sencilla aunque larga: $1,7 / 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$ kg, o lo que es igual: 1,7 por una milcuatrillonésima de kilo. Entender lo que significa es más complicado. Por lo tanto, imaginemos algo tan pequeño que pese sólo una milmillonésima de kilo. (No podemos, como es natural, porque nuestra mente no está hecha para afrontar tales cálculos, pero podemos hacer un esfuerzo). Por lo tanto, imaginemos algo que pese la milmillonésima parte de la sustancia anterior; repitamos el experimento otra vez y habremos imaginado el tamaño de un átomo de hidrógeno. Para pesar el Sol, multipliquemos en vez de dividir. El Sol tiene una masa de alrededor de 2×10^{27} toneladas, es decir, $2\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$, dos mil cuatrillones de toneladas. Y contiene alrededor de $1,2 \times 10^{57}$ átomos. El universo contiene alrededor de 10^{22} estrellas. Para calcular por encima los átomos que hay en el universo, multipliquemos ambas cantidades, lo que significa *sumar* las potencias, y obtendremos $1,2 \times 10^{79}$ átomos. Esta fórmula puede dejarnos fríos hasta que la ponemos en números normales y, aun así, es posible que muchos no entendamos qué estamos escribiendo. En el último capítulo de este libro nos encontraremos con cantidades muchísimo más elevadas que las que hemos mencionado aquí.

RESUMEN

No sabemos con certeza qué pasaba en el universo hace más de 13 000 millones de años. Por no saber, no sabemos ni siquiera si existían el tiempo y el espacio. En cierto momento, la energía y la materia brotaron reventando el vacío y crearon el tiempo y el espacio. El universo primitivo estaba muy caliente y era muy denso, y se dilató muy aprisa con una especie de explosión cósmica. Al dilatarse, se enfrió. La materia y la antimateria se aniquilaron entre sí, dejando un leve residuo de materia. Del violento flujo del universo primitivo surgieron entidades concretas —protones, neutrones, fotones, electrones— y fuerzas definidas, a saber, la fuerza fuerte, la fuerza débil, la gravitatoria y la electromagnética. Cuando hubieron transcurrido unos cientos de miles de años, el universo estuvo lo bastante frío para que los protones y

los electrones formaran átomos estables; y la materia del universo se volvió eléctricamente neutra. En consecuencia cesó la interacción continua de la materia y la energía, y la radiación fluyó libremente por el universo. Conforme el universo se expandía, fue descendiendo la temperatura de la radiación, que hoy es detectable en forma de radiación cósmica de fondo.

Esta historia, por rara que parezca, se basa en un ingente número de investigaciones científicas y es compatible con casi todo lo que sabemos hoy de astronomía y física de partículas. El *big bang* es actualmente la idea axial de la cosmología moderna. Es el paradigma que unifica nuestras ideas actuales sobre la naturaleza y sobre la historia del universo, y ocupa el capítulo primero del mito de creación moderno.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Primal Myths (1991) de Barbara Sproul es una antología de mitos de creación de muchas culturas, e incluye un ensayo introductorio. Hoy hay muchas explicaciones populares de la cosmología del *big bang* y algunas las han escrito personas que han contribuido a forjar el relato moderno del origen del universo. Los libros que cito están entre los que me parecen más útiles. La *Historia del tiempo* (1988) de Stephen Hawking es de los más conocidos y a este título habría que añadir otro más reciente del mismo autor, *El universo en una cáscara de nuez* (2002). Bastante más técnico es *Los tres primeros minutos del universo* (1993²) de Steven Weinberg. *Génesis* (1981) de John Gribbin es una magnífica introducción para el público en general (y una de las fuentes de inspiración del presente libro), aunque ya ha empezado a envejecer. Más al día, pero igual de amenos, son *Informe sobre el Universo* (1997) de Timothy Ferris, *The Origin of the Universe* (1994) de John Barrow, *Cosmology* (2001) de Peter Coles, y *Our Cosmic Origins* (1998) de Armand Delsemme. Este último título está especialmente relacionado con la primera mitad del presente libro. El *Scientific Companion* (1995) de Cesare Emiliani es un manual útil para quienes busquen más información sobre las ideas y los conceptos de la astronomía, la química y la física modernas. *Cosmic Evolution* (2001) de Eric Chaisson es un intento de desentrañar el significado del orden y la entropía a distintas escalas, de las estrellas a los microbios, y *Seis números nada más* (2000) de Martin Rees trata también de las estructuras básicas del universo. *The Life of the Cosmos* (1998) de Lee Smolin es un ameno y ambicioso volumen que especula sobre la posibilidad de que nuestro universo sea uno más en un enjambre de universos que cambian según alguna forma de evolución cósmica. El breve trabajo de Charles Lineweaver, «Our Place in the Universe» (2002) es una extraordinaria introducción al problema de pensar en escalas y orientaciones en el universo. *Timescale* (1983) de Nigel Calder es una notable cronología de la totalidad del tiempo, aunque tiene años de sobra para considerarse algo anticuado.

Capítulo 2

EL ORIGEN DE LAS GALAXIAS Y LAS ESTRELLAS: EL PRINCIPIO DE LA COMPLEJIDAD

Si tuviera que responder con una sola oración a la pregunta «¿Qué ha ocurrido desde el *big bang*?», tomaría aire y diría:

«Desde el comienzo mismo, la gravedad formó estructuras cósmicas y aumentó diferencias de temperatura, un requisito imprescindible para la aparición de esta complejidad que nos rodea diez mil millones de años después y de la que formamos parte».

MARTIN REES

Cuando miramos al cielo, salta a la vista que las estrellas son los pobladores más importantes del universo. Pero las estrellas, a semejanza de los humanos, no viven aisladas. Están agrupadas en gigantescas sociedades cósmicas que denominamos galaxias, cada una de las cuales podría contener 100 000 millones de estrellas. La galaxia en que vivimos nosotros es la Vía Láctea. A diferencia de otras, que vemos en forma de estrellas borrosas o manchas, la Vía Láctea parece a simple vista un río de luz que cruzara el cielo nocturno, y es así porque la observamos desde su interior. Lo que ya salta menos a la vista, e incluso pasó inadvertido a casi todos los astrónomos hasta hace un par de décadas, es que las galaxias se agrupan en comunidades aún mayores. Estas comunidades son los *grupos* (que suelen tener varios millones de años luz de diámetro y contener alrededor de veinte galaxias) y los *cúmulos* (que llegan a tener hasta veinte millones de años luz de anchura y contienen cientos e incluso miles de galaxias). Los grupos y cúmulos de galaxias se mantienen unidos en virtud de la fuerza de gravedad. Pero hay estructuras todavía mayores, estructuras tan grandes que abarcan gran parte del universo. Son los supercúmulos (hasta 100 millones de años luz de anchura y alrededor de 10 000 galaxias) y las mastodónticas cadenas de supercúmulos que encierran gigantescas burbujas de espacio vacío y que fueron detectadas por los astrónomos en la década de 1980. A escalas mayores, el universo aún tiene un aspecto notablemente homogéneo. Esta homogeneidad se ve en la uniformidad de la radiación cósmica de fondo. Las formas complejas que afectan a los observadores complejos como nosotros se presentan sólo a escalas más reducidas que las cadenas de supercúmulos.

Parece que hoy por hoy son las estructuras mayores del universo observable. Su descubrimiento nos desplaza del centro del universo mucho más que el descubrimiento copernicano de que la Tierra da vueltas alrededor del Sol. Nuestro

Sol está situado en un mediocre aledaño de una galaxia de segunda categoría (la de Andrómeda es la mayor de nuestro grupo local), perteneciente a un grupo de galaxias que se encuentra cerca del borde del supercúmulo de Virgo, que contiene miles de galaxias (véase la figura 2.1^[1]).

En fecha más reciente se ha confirmado que los supercúmulos podrían no ser más que actores secundarios en la historia del universo. Parece que la mayor parte de la masa del universo (el 90 por 100 o más) es invisible y que la naturaleza exacta de esta masa (denominada acertadamente *materia oscura*) sigue siendo un misterio. En otras palabras, nos encontramos en la embarazosa posición de no saber de qué está hecho casi todo el universo^[2]. En este capítulo repasaremos algunas teorías sobre la naturaleza de la materia oscura, pero nos centraremos en las partes del universo que mejor conocemos, es decir, las partes visibles.

Reanudamos la historia del universo donde la dejamos en el capítulo anterior: unos 300 000 años después de su creación, momento en que la materia y la energía se separaron.

EL UNIVERSO PRIMITIVO Y LAS PRIMERAS GALAXIAS

Durante los primeros minutos de su existencia, el universo se enfrió tan aprisa que no pudo fabricar elementos más pesados ni más complejos que el hidrógeno, el helio y (en cantidades diminutas) el litio: los elementos 1, 2 y 3 de la tabla periódica. Nada más complejo podía vivir en el calor y el caos del joven universo. Desde el punto de vista químico, el universo eran entonces muy simple, demasiado para crear objetos complejos como nuestra Tierra o los organismos vivos que la pueblan. Las primeras estrellas y galaxias se formaron con poco más que hidrógeno y helio. Pero fueron un indicio de la asombrosa capacidad del recién nacido para construir objetos complejos con elementos simples. Una vez formadas, las estrellas pusieron los cimientos de entidades más complejas, incluidos los organismos vivos, porque en su tórrido núcleo practicaron una alquimia que transformó el hidrógeno y el helio en los elementos restantes de la tabla periódica.

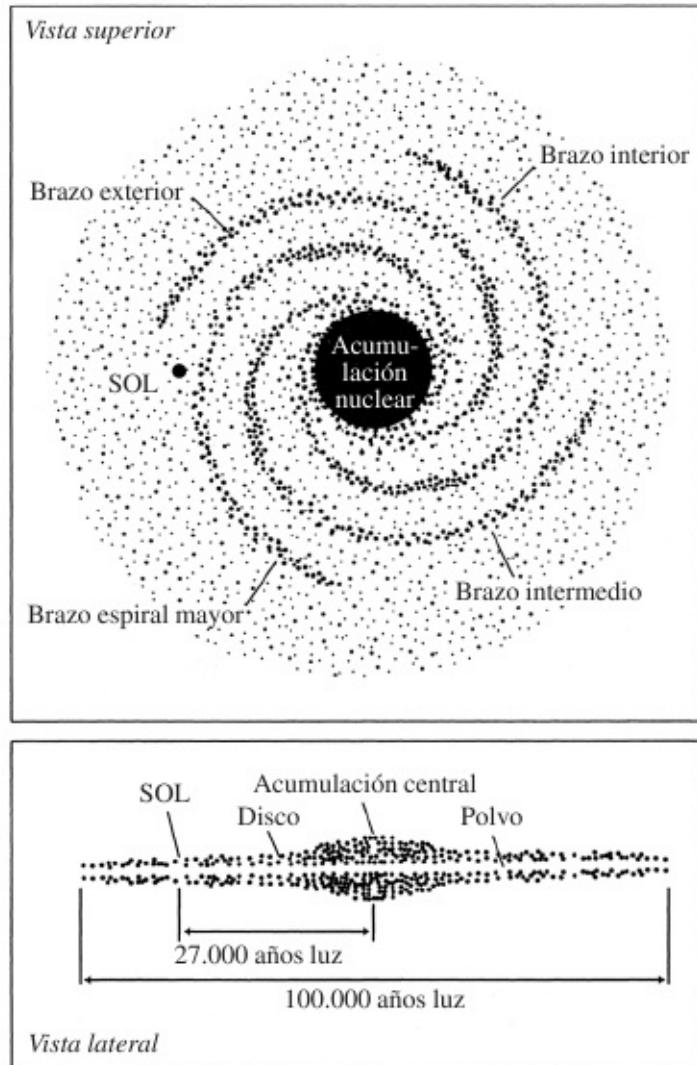


FIGURA 2.1. Posición del Sol en la Vía Láctea. El Sol se encuentra en un brazo de la galaxia, a unos 27 000 años luz de su centro. Las nubes de polvo impiden que veamos bien las partes centrales. Adaptado de Nikos Prantzos, *Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, p. 97.

Hasta aquí, la historia del universo ha estado protagonizada por la fuerza expansiva del *big bang*. Es el momento de presentar otra fuerza de largo alcance: la gravedad. La gravedad es la fuerza que Newton describió magistralmente en el siglo XVII y que Einstein describió con una exactitud aún mayor a principios del siglo XX. Mientras que la fuerza del *big bang* separa la materia y la energía, la gravedad tiende a unir los objetos. Newton dijo que todas las formas de materia atraen a las demás formas de materia. Einstein sostuvo que los efectos de la gravedad aparecen porque las masas muy grandes deforman la geometría espaciotemporal. Demostró asimismo que la gravedad afecta por igual a la materia y a la energía. Esta conclusión no fue una sorpresa, dado que el propio Einstein había explicado ya que la materia no es más que una especie de energía congelada. Pero fue más allá e ideó una ingeniosa forma de demostrar que la gravedad puede deformar la energía lo mismo que la materia. El Sol es el mayor objeto de nuestro sistema planetario y el que tiene más masa. Adujo que esta masa tenía que curvar el espacio-tiempo que la rodeaba, lo suficiente para desviar la trayectoria de la luz que pasaba cerca de sus bordes. La

mejor oportunidad para comprobar este efecto era un eclipse solar, única ocasión en que se podía ver estrellas próximas al Sol. Einstein dijo que fotografiando estas estrellas inmediatamente antes del eclipse, se vería que su movimiento parecería reducirse de inmediato antes de pasar por detrás de la masa solar. Y cuando aparecieran por el otro lado, también parecerían detenerse momentáneamente en el borde del Sol. La luz de las estrellas en cuestión resultaría desviada por la masa solar, del mismo modo que un palo parece doblarse cuando se introduce en el agua. En 1919, durante un eclipse solar, se puso a prueba la afirmación de Einstein y se comprobó que era cierta.

Tirando de la materia y la energía, la gravedad dio forma y estructura al universo. Este proceso se entiende mejor si nos ceñimos a los términos de Newton, que concebía la gravedad de un modo más fácil de percibir, como una «fuerza». Newton demostró que la gravedad puede funcionar a escalas muy grandes, pero que su máxima eficacia se da a distancias pequeñas. Por decirlo con más precisión, la atracción gravitatoria entre dos objetos es directamente proporcional a (el cuadrado de) la masa de dichos objetos e inversamente proporcional a (el cuadrado de) la distancia que los separa. Esto quiere decir que la gravedad puede aumentar la concentración de masas ya previamente concentradas, pero que tiene un efecto menor en objetos muy distantes entre sí. Por lo tanto, la gravedad afecta menos a los objetos ligeros y muy rápidos, como las partículas de energía, por eso influye más en la materia que en la energía. Como sus efectos son variables, la gravedad ha acabado formando muchas estructuras complejas a escalas muy diferentes. Se trata de una conclusión importante, porque sugiere que, hasta cierto punto y a determinadas escalas, la gravedad puede contravenir temporalmente la segunda ley de la termodinámica, esa ley fundamental que parece garantizar que, con el paso del tiempo, el universo se volverá menos ordenado y menos complejo (véase el apéndice 2). Sin embargo, conforme se libera la energía gravitacional (conforme la gravedad compacta la materia), el universo parece volverse más ordenado. Por lo tanto, la gravedad es una de las principales causas de que haya orden y estructura en el universo. En este capítulo veremos cómo formó la gravedad muchos de esos objetos complejos que estudian los astrónomos.

Buena parte de la historia del universo primitivo, y de las galaxias y las estrellas, puede concebirse como resultado de la competencia entre la fuerza expansiva del *big bang*, que disgrega el universo, y la fuerza de gravedad, que tiende a compactarlo. Entre estas dos fuerzas hay un equilibrio inestable y oscilante; la expansión vence en las escalas mayores, pero cede ante la gravedad en las menores (hasta el nivel de los cúmulos de galaxias). Pero para que la gravedad opere necesita ciertas diferencias iniciales. Si el universo primitivo hubiera sido totalmente liso —si, por ejemplo, el hidrógeno y el helio hubieran estado repartidos con absoluta uniformidad por todo el universo—, la gravedad habría hecho poco más que frenar la velocidad de expansión.

El universo habría seguido siendo homogéneo; los objetos complejos y desiguales, como las estrellas, los planetas y los seres humanos, no se habrían formado.

Así pues, es importante conocer el nivel de homogeneidad del universo primitivo. Los astrónomos miden su «fersura» buscando pequeñas diferencias de temperatura en la radiación cósmica de fondo. Cualquier «irregularidad» debería aparecer como una ligera variación en la temperatura. A principios de los años noventa se lanzó el satélite COBE (Cosmic Background Explorer) con la misión de detectar estas diferencias. La sonda WMAP (la ya citada Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), que se lanzó en junio de 2001, está rastreando estas variaciones con una técnica más precisa aún. El COBE ha revelado que la radiación cósmica de fondo es sumamente uniforme, pero que hay variaciones en su temperatura. Al parecer, algunas regiones del universo primitivo estaban un poco más calientes y eran un poco más densas que otras. Estas «asperezas» permitieron la intervención de la gravedad, que las amplificó, condensando aún más las regiones más densas. Mil millones de años después del *big bang*, la gravedad había formado ya vastas nubes de hidrógeno y helio. Puede que tuvieran la extensión de varios cúmulos de galaxias y, a nivel local, su atracción gravitatoria habría bastado para contrarrestar el empuje expansivo del universo. A escalas mayores seguía dominando la fuerza expansiva del *big bang*, de modo que los huecos abiertos entre estas gigantescas nubes de materia se ensanchaban con el paso del tiempo.

Atraídas por su propia gravedad, y conforme los átomos de hidrógeno y helio se concentraban con fuerza creciente, las nubes empezaron a condensarse. Según se contraían las nubes, unas zonas adquirían mayor densidad que otras y se concentraban más aprisa. De este modo, las nubes iniciales se fueron dividiendo en masas de volumen decreciente a escalas muy distintas, desde las que abarcaban las galaxias hasta las que abarcaban las estrellas individuales. Mientras la gravedad concentraba estas masas en espacios cada vez menores, crecía la presión sobre el centro. Cuando aumenta la presión sube la temperatura, de modo que, al contraerse, las masas gaseosas empezaron a calentarse. En el interior de las masas menores, que contenían materia equivalente a miles de estrellas, aparecieron regiones de altísima densidad y un calor extremo; fue en estas bolsas formadas en el interior de los semilleros cósmicos donde brotaron las primeras estrellas^[3].

Al calentarse las zonas centrales, los átomos que había allí adquirieron velocidad creciente y chocaron entre sí con violencia cada vez mayor. Al final, estas colisiones alcanzaron la violencia suficiente para vencer la repulsión eléctrica que ejercían entre sí los núcleos (cargados positivamente) de los átomos de hidrógeno. (Estas fuerzas de repulsión dependen hasta cierto punto de la cantidad de protones, o cargas positivas, que haya en el núcleo, lo que quiere decir que esta reacción se produce con gran facilidad en los átomos de hidrógeno, pero su frecuencia disminuye en átomos más grandes). Dondequiera que se alcanzaran los 10 millones de grados centígrados, se fusionaban pares de átomos de hidrógeno y formaban átomos de helio, que tienen dos

protones en el núcleo. Esta reacción nuclear, llamada *fusión*, es la misma que se produce en el interior de una bomba de hidrógeno. Cuando los átomos de hidrógeno se funden en helio, una pequeña cantidad de materia se transforma en una colossal cantidad de energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein $E = mc^2$; la energía liberada es igual a la masa transformada multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado. Como la velocidad de la luz es una cifra muy elevada, la ecuación de Einstein nos dice que, aunque la cantidad de materia transformada sea muy pequeña, la energía liberada será enorme. Dicho con más exactitud, cuando los átomos de hidrógeno se fusionan y forman un átomo de helio, pierden alrededor del 0,7 por 100 de su masa; lo sabemos porque el átomo de helio pesa menos que los átomos de hidrógeno que lo han formado. La masa que falta se ha convertido en energía^[4]. Las estrellas son como gigantescas bombas de hidrógeno con combustible suficiente para que su «explosión» dure millones e incluso miles de millones de años. Y así fue como las primeras estrellas iluminaron la noche de mil millones de años del universo primitivo.

El tremendo calor y la colossal energía que generan las reacciones de fusión vencen la fuerza de la gravedad; en consecuencia, las estrellas recién nacidas, al encenderse, dejaron de compactarse. Y este equilibrio entre la fuerza expansiva de las explosiones nucleares y la fuerza de la atracción gravitatoria es lo que pone freno a las enormes energías que se producen en el centro de todas las estrellas. Las estrellas forman estructuras muy duraderas porque son fruto de una solución de compromiso entre la gravedad, que compacta la materia, y la fuerza expansiva de las reacciones de la fusión, que obliga a la materia a disgregarse. El tira y afloja es continuo; si el centro se calienta, la estrella se dilata y en consecuencia se enfriá, con lo que vuelve a encoger, en un ciclo de retroacción negativa semejante al de los sistemas de aire acondicionado. (Cuando el aire se calienta demasiado, el sistema se activa y enfriá el aire). Podemos ver el tira y afloja en las pulsaciones de las estrellas variables. Pero, por lo general, la tregua subyacente dura millones o miles de millones de años, tanto como la vida de la estrella.

La formación de las primeras estrellas representó un decisivo punto de inflexión en la historia del universo, porque señaló la aparición de un nuevo nivel de complejidad, de entidades nuevas que funcionaban de acuerdo con leyes nuevas. Billones de átomos que hasta entonces habían ido a la deriva se transformaban de pronto, atraídos por la fuerza de la gravedad, en una estructura organizada, inédita hasta entonces, que podía durar millones o miles de millones de años. La transición se produjo cuando un ligero aumento de temperatura precipitó la fusión en todo el núcleo de la protoestrella, transformando la energía gravitatoria en energía calórica y creando un nuevo y más estable sistema de flujos de energía. Las estrellas organizan los átomos que contienen en configuraciones perennes que pueden activar flujos de gran energía sin desintegrarse. Según veremos, es la pauta característica de todos los umbrales de esta naturaleza. Las configuraciones nuevas aparecen de súbito cuando

entidades hasta entonces independientes son atraídas hacia organizaciones más ordenadas y retenidas por la creciente producción de energía libre (véase el capítulo 4). Pero como todas estas estructuras conservan su equilibrio estructural con dificultades, hay que recordar que nada es eterno. Así pues, los nuevos niveles de complejidad se caracterizan por su fragilidad relativa y por la certeza de que al final se vendrán abajo. La segunda ley de la termodinámica se encarga de que todas las entidades complejas acaben por morir; así que cuanto más sencilla es la estructura, más probabilidades tiene de seguir con vida, razón por la cual las estrellas viven más tiempo que los humanos (véase el apéndice 2).

Muchas estrellas de aquel entonces siguen brillando en la actualidad, 13 000 millones de años después. Casi todas se encuentran en el centro de las galaxias o en esas gigantescas bolas de estrellas que se denominan *cúmulos globulares* y que dan vueltas alrededor de casi todas las galaxias siguiendo una larguísima trayectoria circular. Las estrellas más antiguas se formaron seguramente durante el rápido y caótico hundimiento de nubes gaseosas relativamente informes. Hoy se pueden detectar por lo irregular de su órbita y porque no contienen elementos más pesados que el hidrógeno y el helio, ya que éstos eran los únicos elementos que había disponibles cuando se formaron. En el atestado universo primitivo, las galaxias embrionarias solían fundirse entre sí, y estas fusiones ayudan a entender la órbita irregular de muchas estrellas de primera generación.

Conforme las galaxias se formaban y unían, la gravedad operaba sobre ellas, dando a muchas una forma que es extraordinariamente frecuente en el universo. Unas partes de las deshilachadas galaxias eran arrastradas hacia el centro por la gravedad y formaban arcos gigantescos; las pequeñas variaciones en el movimiento de los arcos les permitían girar como el líquido que se va por un desagüe. La rotación se aceleraba con la contracción de cada nube, tal como sucede a los patinadores cuando cruzan los brazos. Las áreas que giraban más aprisa se estiraban a causa de la fuerza centrífuga y toda la nube se aplataba como una especie de *pizza* cósmica. Estos sencillos procesos, dirigidos todos por la fuerza de gravedad, explican por qué muchas de las mayores nubes de materia que hay en el universo, incluso a la escala de los cúmulos de galaxias, adoptan la forma de disco giratorio, o de «crep», según el teórico soviético Yakov Zelidovich. Como veremos, las mismas normas rigen a escalas menores, razón por la que nuestro sistema planetario, cuando se observa de lejos, parece igualmente un gigantesco disco plano.

Cuando comenzó a gestarse la segunda generación de estrellas, estos procesos habían transformado ya algunas galaxias mayores, como la Vía Láctea, en discos gigantescos y más o menos regulares. Este cambio se refleja en la órbita de las estrellas más jóvenes, que es más tranquila; entre estas estrellas está el Sol, que viaja a una velocidad uniforme de 800 000 km por hora y tarda unos 225 millones de años en completar una vuelta alrededor del centro de la Vía Láctea. Mecanismos parecidos dieron forma a otras galaxias, creando un universo poblado por agrupaciones

estelares de diferentes perfiles, pero que a menudo adoptaban la forma de discos regulares giratorios. La formación de estrellas prosigue en la actualidad. Todos los años se forman alrededor de diez estrellas en la Vía Láctea.

EL ZOO COSMOLÓGICO: AGUJEROS NEGROS, CUÁSARES Y MATERIA OSCURA

El universo primitivo contenía objetos más extraños que las estrellas. En el centro de casi todas las galaxias había unas cotas de densidad tan elevadas que nubes gigantescas de materia y energía seguían desplomándose incluso a temperaturas lo bastante altas para disparar las reacciones de fusión. La gravedad alcanzaba aquí tal fuerza que aplastaba la materia y la energía hasta impedirles manifestarse, dando lugar así a la aparición de los cuerpos denominados *agujeros negros*. Los agujeros negros son regiones del espacio tan densas que ninguna materia ni energía puede vencer su tirón gravitatorio, ni siquiera la luz. Esto significa que jamás podremos ver directamente lo que ocurre dentro, salvo que entremos en alguno, en cuyo caso, naturalmente, no podremos volver para contarla. Los agujeros negros son tan densos que para formar uno con la Tierra tendríamos que comprimirla hasta que tuviera un diámetro de 1,7 centímetros^[5].

Se han hecho muchas y muy fascinantes especulaciones alrededor de lo que significan los agujeros negros. Por ejemplo, recientemente se ha sugerido que podrían ser otros universos vistos desde fuera. Cada uno podría ser un universo diferente que comenzó con su propio *big bang*. Lee Smolin ha dicho que, si esto es verdad, aquí podría estar la explicación de algunas otras rarezas del universo. En concreto podría explicar por qué tantos parámetros fundamentales —como la capacidad relativa de las fuerzas físicas básicas o el tamaño relativo de las principales partículas nucleares— parecen exactamente sintonizados para crear un universo capaz de producir estrellas, elementos y entidades complejas como nosotros. Según Smolin, sólo los universos capaces de producir agujeros negros pueden tener «descendencia». Si a esto le añadimos otra suposición, que los nuevos universos se diferencian muy poco del universo «progenitor», entonces podría estar en marcha un proceso afín a la selección darwiniana^[6]. Al cabo de muchas generaciones, es verosímil que el hiperespacio que alberga todos estos universos acabe dominado por los que posean las cualidades necesarias para producir agujeros negros, por muy estadísticamente improbables que puedan ser dichos universos, dado que todos los demás serán estériles. Pero si un universo puede engendrar agujeros negros, probablemente puede producir también otros objetos grandes, como las estrellas, y muchas otras clases de estructuras complejas. Estas ideas sugieren que para nuestro moderno mito de la creación podría haber otros niveles superiores al del universo y que podría haber un «hiperuniverso» que tuviera más de 13 000 millones de años y fuese mucho mayor que el nuestro.

Pero por el momento no tenemos forma de demostrar la certeza o la falsedad de estas excepcionales especulaciones.

Podemos, pues, volver al terreno del universo conocido, que es más seguro. Los agujeros negros podrían darnos información importante sobre el universo y sobre las galaxias que lo pueblan. Son tan densos que la fuerza gravitatoria que ejercen puede generar energías mucho mayores que las que se producen en las estrellas. Cabe la posibilidad de que haya un agujero negro en el centro de la Vía Láctea, a 27 000 años luz en la dirección de Sagitario. Podría tratarse de la poderosa fuente de ondas de radio que se conoce con el nombre de Sagitario A, y es probable que tenga una masa de unos 2,5 millones de veces la del Sol.

La existencia de agujeros negros en el centro de muchas galaxias podría contribuir a explicar otro objeto extraño, el cuásar o «radiofuentे casi estelar». Los primeros cuásares, los objetos más brillantes que conoce la astronomía moderna, fueron detectados por astrónomos australianos en 1962. Brillan más que las galaxias más grandes, aunque no son mayores que nuestro sistema planetario. Además, están muy alejados de nosotros. Casi todos están a más de 10 000 millones de años luz y ninguno está a menos de 2000 millones. Así pues, cuando observamos un cuásar, estamos viendo un objeto contemporáneo de la infancia del universo. Actualmente se cree que su energía podría proceder de grandes agujeros negros que absorben grandes cantidades de materia del material galáctico que les rodea. En efecto, los cuásares constan de agujero negro más alimento estelar. Eran muy abundantes en el universo primitivo, porque entonces las galaxias estaban más juntas y los agujeros negros estaban mejor alimentados. El universo se ha expandido desde entonces, los cúmulos de galaxias se han distanciado y los restos de que se alimentan los agujeros negros galácticos se han reducido. Así, aunque es probable que casi todas las galaxias tengan un agujero negro en el centro, pocos devoran tanto como para crear cuásares. Y como los cuásares no suelen vivir más de unos millones de años, a causa de su insaciable deseo de polvo estelar, son escasos en el universo moderno. Los cuásares son como los dinosaurios de la astronomía, aunque los agujeros negros que los potenciaron siguen acechando en el centro de casi todas las galaxias, en espera de que una estrella desprevenida caiga en sus fauces.

Galaxias y estrellas forman la mayor parte del universo visible. Pero la observación de los movimientos galácticos y de los cúmulos de galaxias nos ha llevado a la inquietante conclusión de que sólo vemos una porción muy pequeña de lo que hay. La verdad es que lo que vemos podría no superar el 10 por 100, y es posible que sea sólo el 1 por 100, de la materia del universo. Gracias a las leyes básicas de la gravedad, analizando sus circunvoluciones, los astrónomos pueden saber aproximadamente cuánta materia hay en un grupo de galaxias, y por estos estudios sabemos que las galaxias contienen quizás diez veces más materia de la que vemos. Los astrónomos llaman a esta materia invisible *materia oscura*, nombre que se podría tomar por una metáfora de su desconcierto.

Uno de los objetivos principales de la astronomía moderna es averiguar qué compone esta inmensa cantidad de material. En la actualidad hay dos hipótesis. Primera: podría tratarse de partículas diminutas, más pequeñas que los electrones a nivel individual, pero colectivamente con más masa que las demás formas de materia. Se conocen por WIMPS, siglas de *weakly interacting massive particles*, «partículas masivas de interacción débil». El candidato favorito es el neutrino, una partícula que puede tener masa o no tenerla. Si la tiene, no es superior a la quingentésima milésima parte (1/500 000) de la masa del electrón. Sin embargo, hay unos mil millones de neutrinos por cada partícula restante del catálogo, de modo que por pequeña que sea su masa, podrían componer la mayor parte del material del universo. Si los neutrinos fueran visibles, el universo sería una gigantesca niebla neutrínica, salpicada de diminutas motas de materia. Segunda hipótesis: podría tratarse de objetos grandes que no vemos porque no emiten luz ni otras formas de radiación. Estos objetos podrían ser estrellas muertas o cuerpos planetiformes. Reciben el nombre de MACHOS, siglas de *massive compact halo objects*, «objetos fantasma compactos y con masa». Recientemente se ha planteado otra hipótesis que podría brindar una solución elegante al problema de la materia oscura: podría tratarse de energía oscura. Como hemos visto, la energía también produce fuerza de gravedad. Es posible que la llamada energía de vacío, descubierta a finales de los años noventa y que parece responsable de la aceleración de la expansión del universo, constituya el 70 por 100 de la masa/energía del universo. Si es así, podría ser la causa de casi toda la gravedad de más que observan los astrónomos. Según esta versión, la materia oscura podría no representar más del 25 por 100 de todo el contenido del universo, mientras que el universo visible es sólo el 5 por 100^[7].

VIDA Y MUERTE DE LAS ESTRELLAS

Las estrellas, como las personas, tienen biografía. Nacen, viven, cambian y mueren. Y actualmente sabemos mucho sobre los peculiares ciclos vitales de las estrellas. Este conocimiento procede en amplísima medida del estudio del espectro de la luz estelar. Como hemos visto en el capítulo anterior, el análisis minucioso de las bandas de absorción (las frecuencias a las que la energía ha sido absorbida al viajar por el espacio estelar) nos informa de los materiales que contienen las estrellas. También nos da información sobre su temperatura. Los astrónomos del siglo pasado analizaron el espectro de una creciente cantidad de cuerpos celestes y acabaron construyendo una imagen de las etapas de la vida de una estrella y de las clases de estrellas que podían existir.

El rasgo más destacado de las estrellas es su tamaño o, mejor dicho, el tamaño de la nube inicial del material a partir del cual se forman. Este tamaño determina otros rasgos de la estrella, a saber, su luminosidad, su temperatura, su color y su duración.

Si la nube inicial está por debajo del 8 por 100 del tamaño del Sol, su centro no alcanzará en ningún momento la densidad ni el calor suficientes para fusionar el hidrógeno y no habrá estrella. En el mejor de los casos habrá una *enana marrón*: un objeto con un brillo mortecino, un poco como el planeta Júpiter. Las enanas marrones son mitad estrellas y mitad planetas, aunque recientes observaciones del material que orbita a su alrededor sugiere que se han formado de un modo parecido al de las estrellas, por más que no hayan alcanzado el tamaño imprescindible para inflamarse^[8]. Ahora bien, si el tamaño de la nube inicial es entre 60 y 100 veces el del Sol, es probable que mientras se hunde hacia su centro se divida en dos o más sectores de formación estelar, lo cual explica la gran cantidad de sistemas de estrellas dobles o múltiples que han detectado los astrónomos. Entre los dos extremos convendría que nos fijáramos sobre todo en dos tamaños básicos: el de la mayoría de las estrellas, que están entre un tamaño muy inferior al del Sol y 8 veces el de éste, y el de las que tienen entre 8 y 60 veces el tamaño del Sol.

La cantidad de material que hay en la nube de la estrella embrionaria determina la atracción gravitatoria de ésta, la velocidad a la que se contrae y la densidad y el calor de su centro. El calor del centro de una estrella recién nacida determina la velocidad a que consume el combustible de que dispone. Así, las estrellas grandes son mucho más calientes que las pequeñas; aunque contienen más material, también lo queman más aprisa, viven más peligrosamente y mueren antes. Las estrellas diez veces mayores que el Sol pueden extinguirse al cabo de 30 millones de años y las que son mayores aún pueden no pasar de unos cientos de miles de años. El núcleo de las estrellas más pequeñas, que tienen entre dos veces el tamaño del Sol y la décima parte del mismo, es menos denso y, por lo tanto, más frío. En consecuencia, consumen sus reservas con más prudencia. Las estrellas más pequeñas podrían llegar a vivir cientos de miles de millones de años, muchísimo más de lo que ha vivido el universo hasta la fecha.

La mayoría de las estrellas, por ejemplo el Sol, quema su combustible más despacio que las gigantes. Pero al final la estrella se queda sin hidrógeno y su núcleo se llena de helio. Las reacciones de la fusión del hidrógeno han mantenido el tipo de la estrella durante casi toda su existencia, pero al llegar a este punto las reacciones desaparecen. La zona central empieza a enfriarse y se hunde sobre sí misma. Pero este hundimiento aumenta la presión interior, lo cual aumenta a su vez la temperatura del centro de la estrella; ésta parece recuperarse, se hincha y alcanza un tamaño muy superior al que tenía antes. Si la estrella es grande, el primer hundimiento puede elevar la temperatura del núcleo hasta 100 millones de grados centígrados. Con esta temperatura se desencadenan nuevas reacciones de fusión que utilizan el helio como combustible inicial. Pero estas reacciones convierten mucha menos masa en energía que las de la fusión del hidrógeno, de manera que no duran tanto. Las estrellas agotan el helio muy aprisa; y cuando ya no queda helio, el centro vuelve a hundirse y las capas exteriores se hinchan aún más, y a veces salen disparadas hacia el espacio. Una

serie de reacciones de esta clase, cada una de las cuales exige una temperatura superior a la precedente, origina muchos elementos nuevos; los más abundantes son el carbono, el oxígeno y el nitrógeno. El Sol, por ejemplo, seguirá estos pasos hasta que empiece a generar carbono, pero no pasará de aquí, aunque los astros ligeramente mayores que él podrían llegar hasta la producción del oxígeno. Las estrellas maduras crean de este modo muchos elementos de la sección inicial de la tabla periódica; las más grandes, en sus últimas etapas, llegan incluso a producir hierro (número atómico 26), cuya fabricación exige temperaturas de 4000 a 6000 millones de grados. Esta serie de reacciones termina en el hierro. Cuando las estrellas ancianas mueren, sus cenizas, que contienen todos estos elementos, se esparcen por los alrededores, formando cementerios estelares que químicamente son más complejos que ninguna otra región del universo primitivo.

Mientras agonizan, muchas estrellas se hinchan y se convierten en supergigantes rojas; un ejemplo es Betelgeuse, de la constelación de Orión. Cuando el Sol llegue a esta fase, dentro de unos 5000 millones de años, se dilatará tanto que la Tierra y Marte quedarán dentro de sus capas exteriores. (Betelgeuse es tan grande que si se pusiera en el lugar que ocupa el Sol, la Tierra quedaría en el centro de su radio). Cuando al final agotan el combustible, las estrellas de pequeño y mediano tamaño se enfrian y se convierten en puñados de rescoldos estelares que se denominan *enanas blancas*. Son densísimas y tienen un tamaño más propio de un planeta como la Tierra que de una estrella. Al cabo de miles de millones de años casi todas se apagan definitivamente y dejan de existir como estrellas.

Las estrellas gigantes, que superan en más de 8 veces el tamaño del Sol, tienen un destino más espectacular si cabe. Dado su volumen, la presión y la temperatura de su núcleo son mucho mayores, de modo que pueden fabricar elementos de la tabla periódica hasta llegar al silicio y, como ya se ha señalado, al hierro. Durante sus últimas etapas fabrican distintos elementos, estrato por estrato, en un esfuerzo desesperado por seguir extrayendo energía y evitar el hundimiento gravitatorio. Pero cuando por fin se quedan sin combustible, su despedida es mucho más vistosa que la de las estrellas de tamaño mediano. Cuando se han quedado sin energía que las tenga en pie, la gravedad, ya con las manos libres, las reduce con una repentina y catastrófica compresión que puede durar menos de un segundo. Este fenómeno origina lo que se denomina *supernova*. En la explosión de una supernova se genera tanta energía que durante unas semanas puede brillar con la luz de 100 000 millones de estrellas, que viene a ser la luz de toda una galaxia. Si la estrella en cuestión tenía menos de treinta veces el tamaño del Sol, la compresión puede convertirla en una estrella de neutrones. Las estrellas de neutrones son objetos cuyos átomos se han comprimido con tanta fuerza que sus electrones se han fusionado con los protones y los han transformado en neutrones. Una estrella con el tamaño del Sol podría quedar concentrada en el área de una gran ciudad moderna. Las estrellas de neutrones pueden llegar a girar sobre su eje a razón de 600 vueltas por segundo. Las primeras

que se detectaron en la Tierra (en 1967) se llamaron *púlsares*, ya que, a causa de su rotación (y por la situación de los astrónomos que las observaron en relación con el eje de la Tierra), su flujo de energía se percibió como una serie de pulsaciones. En la nebulosa del Cangrejo hay una estrella de neutrones que rota 30 veces por segundo y es lo que queda de una supernova detectada por los astrónomos chinos en 1054 de nuestra era.

Las estrellas que tienen más de 30 veces el tamaño del Sol se hunden con más violencia aún y su núcleo puede quedar reducido a un agujero negro. Fuera del núcleo, los protones y los electrones forman neutrones, y un poderoso chorro de neutrones y neutrinos huye de la estrella moribunda. Este movimiento crea un horno con temperaturas que alcanzan varios miles de millones de grados. Durante unos instantes, gracias a las elevadas temperaturas alcanzadas por la supernova, se cruza otro umbral, porque en este horno se pueden cocer elementos más pesados que el hierro. La verdad es que, durante un breve período, la explosión de una supernova puede fabricar todos los elementos de la tabla hasta el uranio. Estos elementos salen disparados hacia el espacio. Los elementos que protagonizan esta alquimia galáctica son el oxígeno y, en cantidades inferiores, el neón, el magnesio y el silicio, que por ello mismo están entre los elementos más pesados que más abundan en el espacio interestelar. La última supernova de estas características se detectó en febrero de 1987; era la más brillante que se observaba en la Tierra desde 1604, cuando explotó otra en la Vía Láctea. La supernova cuya luz nos alcanzó en 1987 estaba en la Gran Nube de Magallanes, una galaxia de nuestro grupo local que puede verse en el cielo del hemisferio sur. Fue el anuncio de la agonía de una estrella llamada hasta entonces Sanduleak 69 202; en su última fase, de gigante roja, tenía un diámetro que era unas 40 veces el del Sol. Se encontraba a 160 000 años luz de nosotros, lo que significa que la estrella reventó hace 160 000 años. Es posible que muchas «estrellas nuevas» observadas en tiempos antiguos fueran supernovas, por ejemplo la estrella observada durante el nacimiento de Jesús. Como las estrellas grandes viven poco, las supernovas vienen fertilizando el campo interestelar con productos químicos nuevos desde la formación de las primeras galaxias. El oro y la plata de nuestros anillos proceden de una supernova. Sin supernovas no existiríamos^[9].

Hay otra clase de supernova, la llamada *supernova I-a*, que se origina por la explosión de una enana blanca alimentada con material de las estrellas vecinas. Esta explosión es incluso más luminosa que las supernovas originadas por la muerte de estrellas grandes, y expulsa cantidades muy elevadas de hierro, junto con otros elementos pesados.

La muerte estelar es un capítulo fundamental de la historia de la vida en la Tierra, porque las estrellas forjaron las materias primas de nuestro mundo y la energía que nutre la biosfera. Los elementos más pesados que están dispersos por toda la galaxia se forjaron en estrellas y supernovas. Desde el origen del universo ha aumentado de manera proporcional la cantidad de elementos nuevos (aparte del hidrógeno y el

helio). Sin el rico entorno químico originado por las estrellas y las supernovas no habría habido Tierra ni vida. Así pues, los elementos químicos que nos componen se forjaron en tres etapas: casi todo el hidrógeno y el helio se formaron durante el *big bang*, pero buena parte de los elementos restantes, desde el carbono (número atómico 6) hasta el hierro (número atómico 26), se formaron en el interior de estrellas de tamaños mediano y grande; la mayor parte de los restantes procede de supernovas. No es probable que la primera generación de estrellas, surgida durante la infancia del universo, hubiera podido engendrar vida. Las generaciones posteriores, a las que pertenece el Sol, sí pudieron.

LA CREACIÓN DEL SOL

A semejanza de las demás estrellas, el Sol nació por el desplome gravitatorio de una nube de materia. Es probable que una supernova próxima precipitara el hundimiento. La onda expansiva de esta gran explosión sacudió las nubes gaseosas que se habían formado en una región de nuestro brazo espiral de la galaxia, a unos 27 000 años luz de su centro, punto que viene a estar a cuatro décimas partes del borde. El material de estas nubes se reorganizó, como le ocurre a la arena en la vibrante superficie de un tambor. Así nació toda una tribu estelar, con cientos de ejemplares.

Eran estrellas de segunda y tercera generación, porque se habían formado con material que contenía muchos elementos además del hidrógeno y el helio. Los gases primigenios componían el 98 por 100 del material de la nube de la que se formó el Sol (el hidrógeno sumaba alrededor del 72 por 100; el helio, alrededor del 27 por 100). Pero había otros elementos presentes, como el carbono, el nitrógeno y el oxígeno (que hoy constituyen el 1,4 por 100 de toda la materia del universo), y también el hierro, el magnesio, el silicio, el azufre y el neón (que hoy constituyen el 0,5 por 100). Estos diez elementos, formados unos en el *big bang* y otros en el interior de estrellas grandes, representan casi el 0,03 por 100 de la masa de materia atómica presente en nuestra región de la galaxia; los elementos restantes se formaron en supernovas^[10]. La presencia de elementos más pesados que el hidrógeno y el helio, y de muchos compuestos químicos simples, formados con estos elementos, explica por qué, a diferencia de las estrellas de primera generación, el Sol (y quizá muchas hermanas suyas) nació con un cortejo de satélites que son hoy los planetas de nuestro sistema (véase el capítulo 3).

Como en todas las estrellas, muchos rasgos del Sol están determinados por su tamaño. Es una estrella amarilla (tipo espectral G2), lo que quiere decir que está en el punto medio de la escala de luminosidad de las estrellas. No obstante, casi todas las estrellas (alrededor del 95 por 100) son más pequeñas y más frías que él^[11]. El Sol es muy grande en comparación con la Tierra. Su diámetro, de casi millón y medio de

kilómetros, es más del cuádruple de la distancia que hay de la Tierra a la Luna. Sin embargo, el Sol no es lo bastante grande para desplomarse y convertirse en supernova cuando muera. Nació hace unos 4600 millones de años y morirá dentro de 4000 o 5000 millones. Lleva brillando un tercio de la vida del universo y está en la mitad del camino de la suya. Al igual que todas las estrellas, está impulsado por la tremenda y estable explosión nuclear que se produce en su núcleo, donde hay una temperatura de unos 15 millones de grados. En dicho núcleo, los átomos de hidrógeno se fusionan y forman los de helio, liberando grandes cantidades de energía luminosa. Los fotones producidos en estas reacciones pueden tardar millones de años en salir del denso núcleo solar y aparecer en la superficie. La temperatura de ésta es sólo de 6000 grados. Ya en la superficie, la energía recorre el sistema planetario y se sumerge en el espacio. Cuando los fotones alcanzan la superficie del Sol, empiezan a moverse a la velocidad de la luz. Después de pelear durante un millón de años con las congestionadas vías del mundo de las partículas subatómicas, los fotones tardan sólo ocho minutos en llegar a la Tierra, que está a 150 millones de kilómetros del Sol.

Sin el Sol es posible que no hubiera existido la Tierra ni aparecido la vida. Todos los planetas de nuestro sistema se han formado con las sobras del Sol y dentro de su campo gravitatorio. Y el Sol suministra casi toda la energía lumínica y calórica que mantiene la vida en la Tierra. Es la batería que mueve los complejos procesos geológicos, atmosféricos y biológicos que se producen en la superficie de nuestro planeta.

LA ESCALA DEL UNIVERSO

El universo comenzó teniendo un tamaño inconcebiblemente pequeño y hoy es inconcebiblemente grande. En cualquier caso, para que nuestra historia de la creación tenga sentido es necesario que, además de comprender la escala temporal a la que se cuenta, se comprenda también la escala espacial. Nunca comprenderemos del todo estas escalas, pero vale la pena intentarlo.

Si el universo tiene 13 000 millones de años de antigüedad, significa que no podemos ver nada que esté a más de 13 000 millones de años luz de nosotros, porque nada viaja más rápido que la luz, y esa distancia es la máxima que ha podido recorrer la luz desde el origen del universo. Ahora bien, el universo podría ser mayor, porque la idea de inflación sugiere que el espacio-tiempo en que está encuadrado el universo se dilató, durante el primer segundo de vida de este último, a una velocidad superior a la de la luz. Si fue así, el universo real podría ser millones de veces más grande que el universo observable. En realidad, si diferentes partes experimentaron expansiones independientes, podría haber millones de universos, con ligeras diferencias en las leyes físicas de cada uno.

En la práctica, sin embargo, ni siquiera podemos abarcar todo el universo visible. Para pasar del tamaño de la partícula subatómica más pequeña al cúmulo de galaxias mayor que se conoce tenemos que multiplicar por diez 36 veces. El cúmulo de galaxias más grande es 10^{36} veces mayor que la partícula más pequeña que conocemos^[12]. Esta forma de decir las cosas no nos impresiona mucho; incluso para ponernos a pensar en estas escalas tenemos que esforzar un poco la imaginación. Puede que con un pequeño experimento mental nos hagamos una ligera idea de lo que son las escalas muy grandes.

Cada galaxia grande, como la Vía Láctea, contiene alrededor de 100 000 millones de estrellas. Las galaxias mayores pueden contener hasta un billón, mientras que las galaxias enanas, que son más numerosas, pueden tener alrededor de 10 millones, de manera que 100 000 millones podría corresponder al tamaño de la galaxia media. Por lo que sabemos, en el universo observable hay alrededor de 100 000 millones de galaxias. ¿Cuánto es 100 000 millones? Imaginemos un montón de 100 000 millones de granos de arroz: para contenerlos sería necesario un edificio del tamaño de la Ópera de Sidney^[13]. Esto puede dar una idea de la cantidad de estrellas que hay sólo en nuestra galaxia. Para representarnos la cantidad de estrellas que hay en todo el universo visible tendríamos que construir cien mil millones de teatros de ópera y llenarlos todos de arroz. (El total de los granos de arroz podría equivaler aproximadamente al total de los granos de arena de todos los desiertos y playas de la Tierra)^[14]. Pero concentrémonos en una sola ópera e imaginemos que es nuestra galaxia, la Vía Láctea. Si construyéramos una maqueta de la Vía Láctea con el arroz, ¿qué distancia habría entre el Sol, al que ponemos en el centro de la Ópera de Sidney, y el grano de arroz más cercano? La estrella más cercana a nosotros es Próxima de Centauro, que forma parte del sistema triple de Alfa Centauro y es la tercera estrella más brillante del cielo nocturno. Si el Sol fuera un grano de arroz situado en el centro de la Ópera de Sidney, Próxima de Centauro estaría cerca de la ciudad australiana de Newcastle, que está a unos 100 kilómetros de distancia, lo cual representa sólo 4,35 años luz (más de 40 billones de km). En total hay unas veintiséis estrellas a menos de 12 años luz de la Tierra. (Una es Sirio, que es veintitrés veces más luminosa que el Sol y la estrella más brillante del firmamento nocturno, a causa de su proximidad —está sólo a 8,6 años luz— y porque su masa es más de dos veces la del Sol). Para empezar a captar el tamaño de nuestra galaxia, imaginemos todo el arroz de la ópera esparcido según esta escala.

Busquemos otra comparación. Un reactor tarda cuatro o cinco horas en cruzar un continente como Australia o América del Norte. ¿Cuánto tardará este mismo reactor en llegar al Sol? (¿Cuántas comidas de avión tendremos que tomar antes de llegar allí?). En un Boeing 747 y a unos 900 km por hora tardaríamos casi veinte años en llegar al Sol, que está a unos 150 millones de kilómetros. En llegar a nuestra vecina más cercana, Próxima de Centauro, y viajando en el mismo reactor, tardaríamos más de cinco millones de años. Tal es la distancia que hay entre los vecinos de al lado en

una ciudad galáctica de 100 000 millones de estrellas. Para percarnos del tamaño de toda la Vía Láctea, recordemos que la luz tarda sólo ocho minutos en llegar del Sol a la Tierra, pero tarda cuatro años y cuatro meses en llegar a Próxima de Centauro. Para llegar al centro de la galaxia, esa misma luz tendría que seguir viajando durante 30 000 años, 10 000 veces la distancia que hay entre el Sol y Próxima de Centauro.

Jugando con estos improvisados experimentos mentales podemos representarnos por encima las dimensiones del universo. Además, nos sugieren la pequeñez absoluta de las escalas que nos afectan habitualmente en tanto que seres humanos. En la escala del universo, el Sol y la Tierra son motas de materia infinitamente pequeñas.

Estos cálculos sugieren otra cosa que interesa para comprender la historia humana. El lugar que ocupa la Tierra en el universo no es en absoluto un hecho aleatorio. Existimos únicamente porque estamos en una región atípica. Casi todo el espacio está vacío y es frío. En realidad, nuestros experimentos mentales se han referido sólo a una galaxia, a una región del espacio que contiene cantidades insólitas de materia. Fuera de las galaxias, la materia es mucho menos densa. La Tierra está en una región inusualmente abundante en materia, en una galaxia grande en que las supernovas han generado un amplio abanico de elementos. En el interior de esa galaxia, nos encontramos en una región de formación estelar, cerca de una estrella madura. Incluso en el disco (núcleo) de la galaxia, que es su parte más densa, hay regiones vacías que por lo general sólo contienen un átomo en cada molécula cúbica. En la atmósfera terrestre, en cambio, puede haber 25 billones de moléculas en ese mismo espacio^[15]. Y cruzando esta materia está la energía que emite el Sol cada segundo que pasa. En otras palabras, la historia humana se ha desarrollado en una bolsa del universo que abunda en materia y desborda energía. Lo que posibilitó la vida fue la extraordinaria riqueza y complejidad de este entorno.

RESUMEN

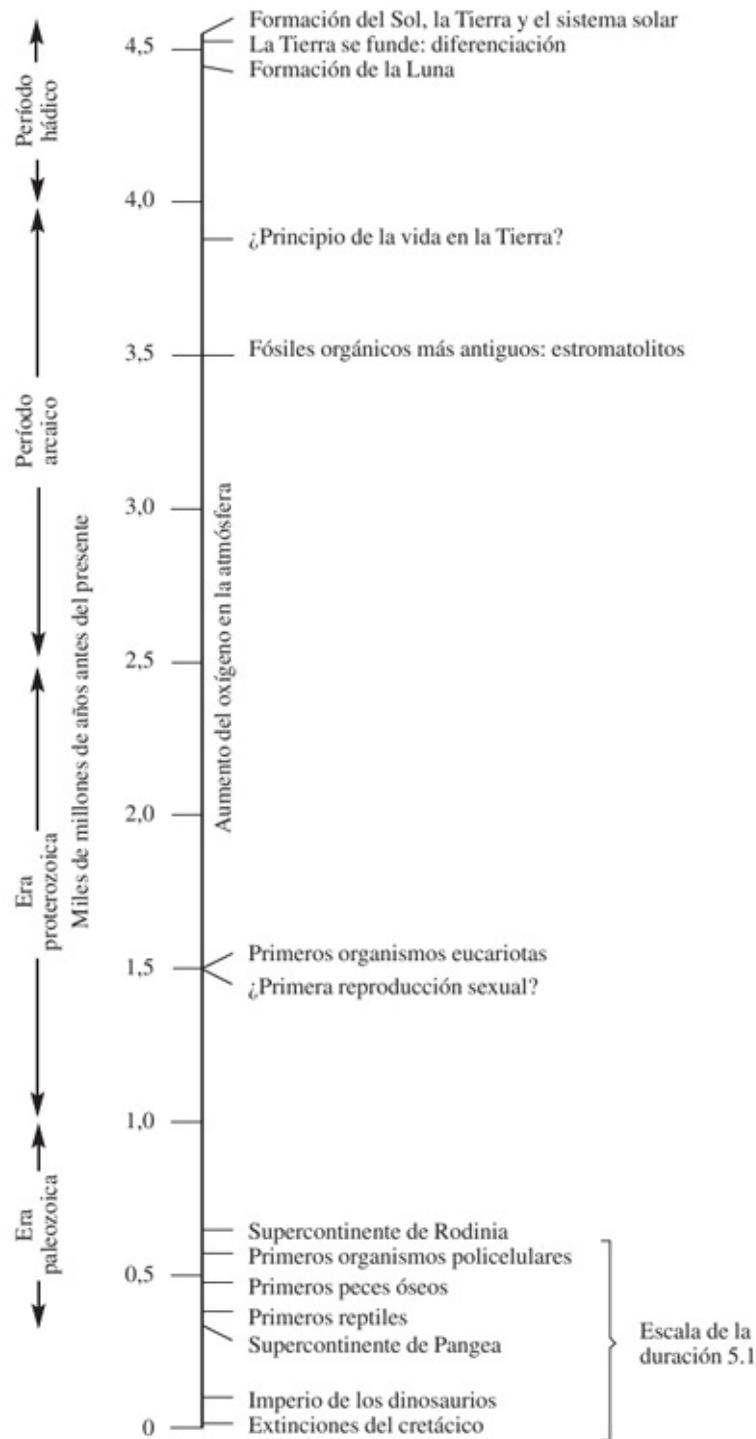
Cuando el universo tenía alrededor de 300 000 años, consistía básicamente en gigantescas nubes de hidrógeno y helio. Allí estaban las materias primas con las que se formarían las estrellas y las galaxias del futuro. Cuando el universo tuvo alrededor de mil millones de años, aparecieron las primeras estrellas, en regiones donde el hidrógeno y el helio estaban más concentrados. La gravedad comprimía las densas nubes gaseosas y formaba discos planos y giratorios de una variedad de tamaños. En las escalas menores había nubes de materia aproximadamente del tamaño del sistema solar. Al comprimirse, los núcleos se calentaban hasta que el hidrógeno empezaba a fusionarse y a convertirse en helio. Estas reacciones nucleares liberaban energía que impedía que el centro se comprimiera aún más; así se formaron los estables núcleos de las estrellas. Las estrellas consumen hidrógeno. Cuando se agota, las estrellas grandes pueden consumir helio, incluso elementos más complejos, hasta llegar al

hierro, momento en el que la fusión exige más energía de la que hay. Las estrellas mayores consumen el combustible con rapidez y al final se hunden con una gran explosión que se conoce con el nombre de supernova. En el interior de las supernovas es donde se engendran los elementos químicos más complejos. Las estrellas menores consumen más despacio y a temperaturas inferiores, viven más tiempo y cuando se quedan sin combustible se enfrian con más discreción.

Gracias a las estrellas, a su vida y a su muerte, vivimos en un universo químicamente más complejo. La verdad es que los objetos complejos que pueblan la Tierra y nuestra historia no habrían existido en el entorno del universo primitivo, que era mucho más simple.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Alchemy of the Heavens (1996) de Ken Croswell es una buena introducción a la vida de las estrellas, mientras que *La aventura del Universo* (1988) de Timothy Ferris cuenta de manera magistral la historia de la astronomía moderna. *Our Cosmic Origins* (1998) de Armand Delsemme es una buena introducción y *The Scientific Companion* (1995²) de Cesare Emiliani proporciona detalles técnicos en una exposición muy accesible. Las obras de Isaac Asimov son muy amenas, pero están ya anticuadas. *Genesis* (1981) de John Gribbin es una soberbia historia del universo y de nuestro lugar en él, contada en clave de divulgación, pero como la cosmología cambia tan aprisa, también este libro empieza a estar anticuado. *Seis números nada más* (2000) de Martin Rees y *Life of the Cosmos* (1998) de Lee Smolin nos introducen en el campo de las teorías de la astronomía moderna. Con *Cosmic Evolution* (2001), Eric Chaisson nos presenta un fascinante intento de definir el nivel de complejidad que encontramos en las estrellas. «Our Place in the Universe» (2002), un breve trabajo de Charles Lineweaver, explica la «geografía» del universo y las escalas espaciales.



DURACIÓN 3.1. Escala de la Tierra, la biosfera y «Gaia»: 4500 millones de años.

Capítulo 3

ORIGEN E HISTORIA DE LA TIERRA

Los dos capítulos anteriores han abarcado regiones tan grandes que la luz tardaría miles de millones de años en recorrerlas y con tantas estrellas como granos de arena hay en una playa. Al final del capítulo 2 nos hemos centrado en una región de una sola galaxia, la Vía Láctea. En este capítulo nos trasladaremos a una escala más reducida, la de una sola estrella y uno de sus planetas. En esta escala tan diminuta está esa estrella local que llamamos «el Sol», una estrella que parece dominar todo nuestro universo. No es de extrañar, pues, que muchas religiones terrenales tomaran al Sol por el dios supremo. Pero el lugar en que vivimos es la Tierra y ésta es, en muchas religiones, nuestra madre nutricia. Los griegos la llamaron «Gaia» (que en griego se pronuncia «Guea»).

La Tierra, como todos los demás planetas y satélites del sistema solar, es un subproducto de la formación del Sol. Aunque no era el único agente, la gravedad es la protagonista de este capítulo, como lo ha sido en la historia de la formación de las estrellas en general. Nuestros conocimientos sobre la aparición del sistema solar han sufrido una revolución desde la década de 1960, gracias al empleo de ingenios espaciales que nos permiten viajar indirectamente por buena parte de nuestro sistema planetario.

EL SISTEMA SOLAR

Los planetas del sistema solar, incluida la Tierra, se formaron en el mismo momento que el Sol, hace alrededor de 4560 millones de años. Todos tienen un tercio de la antigüedad del universo. Los estudios realizados sobre la composición y el movimiento del Sol, los planetas, los satélites y los meteoritos que pueblan el sistema, más las recientes observaciones de los planetas que se están formando alrededor de las estrellas cercanas, nos permiten hablar con bastante seguridad de cómo se formó el sistema solar. Pero quedan algunas dudas acerca de los detalles.

El Sol contiene alrededor del 99,9 por 100 de la materia de nuestro sistema planetario. Lo que aquí interesa es el restante 0,1 por 100, porque de ese diminuto residuo salieron todos los planetas, incluida la Tierra. Ya hemos visto que cuando las nubes de materia se contraen, la gravedad tiende a imprimirles rotación y forma de disco. La nebulosa solar, la nube de gas y polvo con que se formó nuestro sistema planetario, no fue una excepción. Mientras el Sol se formaba, en un proceso que duró unos 100 000 años, la gravedad atrajo hacia su centro casi toda la materia de la nebulosa. Pero hubo jirones de polvo y gas que, mantenidos a distancia por la fuerza

centrífuga, se quedaron dando vueltas alrededor, semejantes a los anillos que vemos rodeando los grandes planetas gaseosos, Saturno, Júpiter, Urano y Neptuno. Lo sabemos con seguridad porque a finales de la década de 1990 los astrónomos vieron por primera vez en la historia la formación de anillos parecidos alrededor de estrellas recién formadas en nuestro sector periférico de la Vía Láctea. La nebulosa solar estaba compuesta sobre todo por hidrógeno y helio (alrededor del 98 por 100 de su masa), y de manera secundaria por otros elementos repartidos en pequeñas cantidades.

Conforme el Sol se inflamaba, los anillos interiores de la nebulosa se calentaban más que los exteriores. Este calor expulsó de la región interior los materiales más volátiles (gaseosos). Pero más allá, al otro lado de la órbita que luego sería de Júpiter, reinaba una temperatura inferior que permitió que las sustancias gaseosas se licuaran o solidificaran. El resultado fue que las órbitas interiores concentraron más material rocoso, mientras que en las exteriores se acumularon más gases. Esto explica que los planetas interiores sean rocosos y que los exteriores (de Júpiter en adelante) estén compuestos principalmente por hidrógeno y helio, que en la Tierra son gases. También explica que los planetas exteriores sean tan grandes: Júpiter tiene más de 300 veces la masa de la Tierra (aunque en tamaño es mil veces menor que el Sol) y Saturno casi 100. (Plutón, que es menor que la Luna, no se admite ya como planeta, sino en todo caso como el mayor de los planetésimos que quedan). El agua (el hielo) es el compuesto químico simple más frecuente, ya que está formada por los dos elementos reactivos que más abundan, el hidrógeno y el oxígeno. Así, los planetas que se formaron a distancias donde el agua era normalmente un cuerpo sólido acabaron por ser mayores que los que se formaron en regiones donde era un cuerpo gaseoso y podía expulsarse con facilidad. Además, la masa superior de los planetas exteriores les permitió capturar más fácilmente elementos como el hidrógeno y el helio, que conservan el estado gaseoso incluso a temperaturas muy bajas. En la actualidad, el sistema solar está dividido en dos clases generales de planetas: un anillo interior de cuerpos rocosos y más bien pequeños, con densidad superior a 3 gramos por centímetro cúbico, y un anillo exterior de cuerpos muy grandes pero menos compactos, con una densidad inferior a 2 gramos por centímetro cúbico.

Aunque la temperatura y los materiales variaban de una órbita a otra, las partículas de materia chocaban entre sí en el interior de cada una o eran atraídas por la gravedad. A veces se fundían, atraídas por fuerzas electroestáticas, esas mismas fuerzas que se ven en acción cuando se frota un bolígrafo o un peine y se pone encima de un puñado de trocitos de papel. Por un mecanismo deducido por Kant en 1755 y que los astrónomos llaman *acreción*, gracias a estas civilizadas colisiones se formaron pequeños y blandos grumos de roca. Crecieron, adquirieron el tamaño de una bola de nieve, se convirtieron en meteoritos y luego en planetésimos. Al igual que los autos de choque, los planetésimos tenían una órbita desigual y a menudo chocaban entre sí. Conforme crecían, los choques se volvían más violentos. En menos

de 100 000 años se formó una legión de planetésimos, ninguno de los cuales tenía más de 10 kilómetros de diámetro. Los cometas modernos como el Halley son en su mayoría supervivientes de esta etapa primitiva del sistema solar y nos permiten imaginar el aspecto que probablemente tuvieron algunos de los primeros planetésimos. Sin embargo, los cometas actualmente existentes seguían entonces una órbita más excéntrica o más lejana, entre otras cosas a consecuencia de la atracción gravitatoria del superplaneta que se estaba gestando, Júpiter. Gracias a eso se libraron de ser carne de planeta. Hay miles de millones de cometas que todavía dan vueltas más allá de los planetas exteriores, en la Nube de Oort, que empieza más allá de Neptuno, a más de 35 veces la distancia que media entre la Tierra y el Sol. Casi todos son diminutos, pero hay algunos, como Quirón, que podrían tener 200 kilómetros de diámetro.

Cuando el Sol tenía alrededor de 100 000 años, expulsó el gas y las partículas de polvo que quedaban en las órbitas interiores, un fenómeno denominado *viento de T Tauri* y que suele estar relacionado con las estrellas jóvenes. Cabe suponer que el viento de T Tauri barrió también la incipiente atmósfera que hubiese en el planetésimo que con el tiempo sería la Tierra. En las órbitas interiores sólo quedaron planetésimos sólidos demasiado grandes para ser arrastrados por el viento solar. Poco a poco, los planetésimos mayores fueron capturando objetos menores en sus redes gravitatorias, hasta que el más grande de cada órbita engulló casi todo el material que tenía a mano. Así, alrededor de un millón de años después del nacimiento del Sol quedaban sólo unos treinta protoplanetas, de tamaño parecido al de la Luna o Marte. Cada uno era dueño de una órbita y todos daban vueltas en el plano del primitivo disco solar. En el curso de otros cien millones de años configuraron el sistema solar tal como lo conocemos hoy día.

Los planetas interiores (Mercurio, Venus, la Tierra, Marte y los asteroides) se formaron básicamente con silicatos (compuesto de silicio y oxígeno), pero también con metales y gases retenidos. La Tierra, por ejemplo, está compuesta de oxígeno (casi el 50 por 100) y pequeñas cantidades de hierro (19 por 100), silicio (14 por 100), magnesio (12,5 por 100) y muchos otros elementos de la tabla periódica. Los asteroides que habitan entre Marte y Júpiter podrían ser los restos de un planeta rocoso «frustrado» cuya formación fue interrumpida por el fuerte tirón gravitatorio del cercano Júpiter. Júpiter, el planeta más grande, se formó seguramente muy pronto, quizás 50 millones de años o más antes que la Tierra^[11]. Tiene casi el tamaño suficiente para que en su centro se originen reacciones nucleares. Casi es una estrella pequeña, pero no lo es del todo. Si hubiera sido un poco mayor, nuestro sistema planetario tendría dos soles y su estructura y su historia habrían sido muy diferentes. La órbita de los planetas sería mucho menos regular y estable, y no es probable que hubiera aparecido la vida en ninguno.

Los discos de materia que hay alrededor de todos los planetas mayores (el caso más espectacular es el de Saturno) dan a entender que todos tenían tamaño suficiente

para haberse formado con su propia nebulosa, como si fueran estrellas embrionarias. La nebulosa de Júpiter era en realidad tan parecida a la del Sol que sus satélites interiores, Ío y Europa, son rocosos, mientras que los exteriores son más gaseosos, probablemente porque la radiación del naciente planeta alejó los elementos gaseosos.

¿Es único nuestro sistema planetario o su formación fue un fenómeno corriente? Hasta hace poco, los astrónomos carecían de medios directos para detectar la existencia de planetas incluso en las estrellas más cercanas. Sin embargo, en 1995 se comprobó por primera vez la existencia de un planeta que daba vueltas alrededor de otra estrella. En mayo de 1998, el observatorio espacial Hubble hizo la primera fotografía de este presunto planeta. Era grande —tres veces el tamaño de Júpiter— y al parecer fue expelido por un sistema de estrellas binarias de la constelación de Tauro^[2]. Los astrónomos han fotografiado también discos de acreción de sistemas planetarios embrionarios. Este indicio sugiere que los sistemas planetarios podrían ser muy frecuentes, aunque su estructura concreta podría variar mucho de unos casos a otros. Si, como los últimos datos sugieren, sólo el 10 por 100 de las estrellas se forma con un cortejo planetario, entonces, y por fijarnos únicamente en nuestra galaxia, podría haber diez mil millones de estrellas con sistema planetario, sea cual sea su forma. Esto significa que el nicho astronómico que ocupamos, aunque inusual a la escala del universo, no es infrecuente. En la Vía Láctea, por ejemplo, podría haber millones de sistemas planetarios capaces en principio de fomentar alguna clase de vida. ¿Significa esto que la vida es habitual en el universo? Volveremos más abajo sobre esta pregunta y también en el capítulo 4, cuando repasemos cómo apareció la vida en la Tierra.

LA TIERRA PRIMITIVA: FUNDICIÓN Y ENFRIAMIENTO

La acreción fue un proceso caótico y violento, y lo fue más conforme aumentaban el tamaño y la atracción gravitatoria de los planetésimos. Los choques entre los planetésimos del interior de cada órbita generaban grandes cantidades de calor y energía. La violencia de estas colisiones se refleja en la rara rotación e inclinación del eje de casi todos los planetas, un hecho que sugiere que, semejantes a bolas de billar, unos chocaban contra otros en algún punto de su trayectoria. La superficie de la Luna presenta un testimonio gráfico de estos procesos. Como la Luna carece de atmósfera, su superficie no está sometida a ninguna clase de erosión y conserva las huellas de su historia primitiva. Dicha superficie está acribillada por millones de impactos de meteorito, como puede verse en una noche despejada con unos simples prismáticos. Durante, digamos, mil millones de años, la historia de la Tierra fue así de violenta, hasta que el propio planeta engulló casi todo el material que quedaba en su órbita. La furia de esta época primitiva de la historia de la Tierra, llamada «hádica» (por Hades, el infierno), explica por qué quedan tan pocos indicios de ella (véase la tabla A1 del

apéndice 1). Al cabo de mil millones de años, la frecuencia de las colisiones se redujo. Como es evidente, algunos planetésimos consiguieron sobrevivir hasta el día de hoy. Así pues, sigue habiendo colisiones y algunas han desempeñado un papel fundamental en la historia de la Tierra. Pero son mucho menos frecuentes que en la época hídica.

La Tierra primitiva tenía poca atmósfera. Antes de alcanzar el pleno desarrollo, su gravedad era insuficiente para impedir que los gases se perdieran en el espacio, y eso que el viento solar ya había barrido buena parte del material gaseoso de las órbitas interiores del sistema. Así que tenemos que imaginarnos la Tierra como una mezcla de materiales rocosos, metálicos y gases retenidos, con poca atmósfera y sometida continuamente al bombardeo de planetésimos menores. La Tierra primitiva habría sido un auténtico infierno para los humanos.

Conforme aumentaba de tamaño, la Tierra se calentaba, por un lado, a causa de los choques con otros planetésimos y, por otro, a causa de la creciente presión que había en su interior. Además, el sistema solar primitivo contenía materiales radiactivos en abundancia, tal vez formados en la supernova que explotó no mucho antes de la formación del Sol. Buena parte de este calor se ha retenido hasta la actualidad, aunque con el paso del tiempo se han filtrado hasta la superficie grandes cantidades procedentes del protegido núcleo del planeta. Conforme se calentaba la Tierra, se derretía su interior, donde los elementos se iban ordenando de acuerdo con su densidad, según un proceso denominado *diferenciación*. Unos 40 millones de años después de formarse el sistema solar, casi todos los elementos metálicos pesados que había en la Tierra primitiva, como el hierro y el níquel, se habían hundido hacia el centro, dando al núcleo del planeta una naturaleza férrica. Este núcleo metálico es responsable del característico campo magnético que ha desempeñado un papel tan importante en la historia del planeta: al desviar las numerosísimas partículas de alta energía que circulaban por el espacio, ha protegido los delicados procesos químicos que al final dieron lugar a la vida.

Conforme los materiales pesados se hundían hacia el centro, ascendían los silicatos, que eran más ligeros, en el curso de un proceso parecido al de los altos hornos. Los silicatos más densos formaron el manto de la Tierra, una región de casi 3000 kilómetros de espesor que está entre el núcleo y la corteza. Gracias al bombardeo de los cometas, cuyos impactos desgarraban y calentaban la superficie del planeta, los silicatos más ligeros llegaron a la superficie, donde se enfriaron más aprisa que los materiales del interior, que estaban mejor protegidos. Estos materiales más ligeros, como las rocas que llamamos *granitos*, formaron una corteza continental de unos 35 kilómetros de espesor. En comparación con el radio de la Tierra, esta capa es tan delgada como una cáscara de huevo. La corteza del fondo marino (formada sobre todo por basaltos volcánicos) es aún más delgada, de unos 7 kilómetros. Entre la superficie y el núcleo de la Tierra hay casi 6400 kilómetros; así pues, la corteza continental llega sólo a 1/200 de la distancia que la separa del núcleo. Buena parte de

la corteza primitiva ha seguido en la superficie hasta nuestros días. Las partes más antiguas, localizadas actualmente en distintos puntos de Canadá, Australia, el sur de África y Groenlandia, tienen alrededor de 3800 millones de años.

Los materiales más ligeros, incluidos los gases como el hidrógeno y el helio, fueron ascendiendo a la superficie en forma de burbujas. Así pues, hay que representarse la superficie de la Tierra primitiva como una gigantesca zona volcánica. Y podemos averiguar qué gases ascendieron a la superficie analizando la mezcla gaseosa que expulsan los volcanes en la actualidad. Son hidrógeno (H), helio (He), metano (CH_4), vapor de agua (H_2O), nitrógeno (N), amoníaco (NH_3) y ácido sulfídrico (H_2S). Otros materiales, entre ellos elevadas cantidades de vapor de agua, llegaban con los bombardeos de los cometas. Buena parte del hidrógeno y el helio se perdió, pero cuando el planeta estuvo formado, su tamaño permitió que la gravedad retuviera un elevado porcentaje de los gases que quedaban; y estos gases formaron la primera atmósfera estable de la Tierra. Buena parte del metano y del ácido sulfídrico se convirtió en anhídrido carbónico (CO_2), que no tardó en dominar la joven atmósfera. Con una atmósfera abundante en anhídrido carbónico, el cielo tendría un color rojo en vez de azul. Sin embargo, al enfriarse la Tierra, el vapor de agua acumulado en la atmósfera cayó en forma de lluvias torrenciales que duraron millones de años. Estas precipitaciones formaron los primeros mares. Tuvieron que formarse hace más de 3500 millones de años, porque sabemos que por esas fechas había ya organismos vivos. Su presencia indica que las temperaturas de la superficie terrestre habían descendido por debajo de los 100 grados. Los primeros mares disolvieron buena parte del anhídrido carbónico presente en la atmósfera. Para el ojo humano, el cielo estaría adquiriendo gradualmente un matiz azul.

Que el agua exista en estado líquido en la superficie terrestre tiene una importancia fundamental para nosotros, porque significa que las temperaturas del planeta permitían ya la aparición de las complejas y frágiles moléculas que se organizaron en las primeras formas de vida. No se sabe por qué las temperaturas de la Tierra son tan favorables para la vida. Es posible que en todos los sistemas planetarios haya una estrecha franja —lo bastante alejada de la estrella local para no hervir, pero lo bastante cercana para recibir calor— en cuyo interior pueda surgir la vida. No obstante, sabemos que las atmósferas no se forman según leyes sencillas y previsibles. La primera atmósfera de Venus quizás se pareciese a la de la Tierra; pero su gruesa capa de nubes y las tremendas cantidades de luz solar que recibía generaron un desbocado efecto invernadero que ha hecho que en la superficie de Venus se alcancen actualmente temperaturas que llegan al punto de ebullición del plomo. En realidad es un planeta esterilizado. Por ser más pequeño y con menor gravedad, Marte apenas tiene ya atmósfera, aunque en tiempos pasados es posible que tuviera más. Cabe la posibilidad de que la Tierra fuera apta para la vida por una singular combinación de circunstancias, lo que da a entender que, aunque en el universo haya miles de millones de planetas, tal vez sean pocos los capacitados para desarrollar

vida^[3]. Sin embargo, como veremos en el capítulo 5, una vez que se formó la vida, los organismos empezaron a sentirse cómodos y a modificar la atmósfera y la superficie terrestre con objeto de volverlas más aptas para ellos.

Es posible que muchos ingredientes de la atmósfera primitiva (por ejemplo, buena parte del agua), así como muchos compuestos químicos orgánicos responsables de las primeras formas de vida, llegaran con los cometas que bombardearon la superficie durante los primeros mil millones de años de existencia de la Tierra^[4]. Este bombardeo constante podría explicar también la formación de la Luna, que apareció entre 50 y 100 millones de años después de formarse el sistema solar. El estudio de las rocas de la Luna ha revelado que este satélite es menos denso que la Tierra y contiene mucho menos hierro. Esta diferencia podría explicarse imaginando que un protoplaneta, tal vez del tamaño de Marte, pasó rozando la Tierra cuando ya se había completado el proceso de diferenciación. El golpe pudo desgajar parte del manto y de la corteza de la Tierra primitiva, sin alcanzar el núcleo abundante en hierro. El puñado de escombros se puso a dar vueltas alrededor de nuestro planeta, a semejanza de los anillos de Saturno, hasta que al final se volvió compacto por acreción y formó la Luna.

Así pues, alrededor de mil millones de años después de formarse el sistema solar, la Tierra ya tenía satélite; un núcleo de hierro caliente; un interior, el manto, caliente y semilíquido; una corteza delgada pero sólida; mares; y una atmósfera en la que abundaban el nitrógeno, el anhídrido carbónico y el vapor de agua. Para los humanos habría sido un lugar tórrido, peligroso y desagradable, inundado por una lluvia ácida incesante y cubierto periódicamente por los océanos de lava que se formaban con la violenta llegada de cometas y asteroides. Pero contenía ya todos los ingredientes necesarios para que apareciesen y prosperaran las primeras formas de vida. Sobre todo contenía agua, porque estaba suficientemente alejado del Sol para que el vapor se licuara, pero suficientemente cerca para que no se congelase.

INDICIOS DE LA TIERRA PRIMITIVA

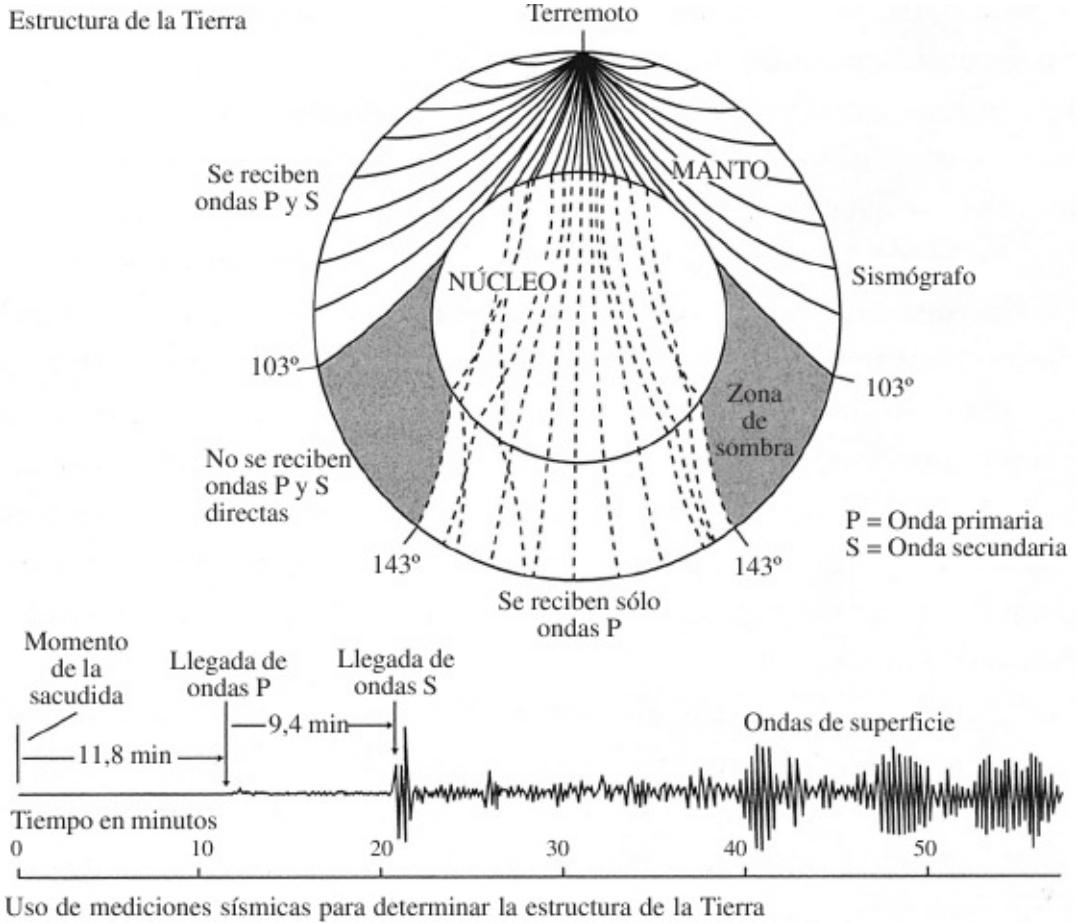
¿Cómo sabemos tanto sobre la Tierra primitiva? Lógicamente, he introducido algunas hipótesis en la historia que acabo de contar, pero por lo demás se basa en multitud de datos comprobados. Hay dos clases de información cuya importancia es tal que merece que las veamos con detenimiento.

No tenemos medios para perforar la Tierra más que superficialmente, de modo que para analizar el interior nos apoyamos en métodos indirectos. Por suerte, el estudio de los terremotos ha desarrollado un método secundario para describir dicho interior. Los geólogos registran los terremotos con sismógrafos, que son instrumentos que miden las vibraciones bruscas de la Tierra causadas por sacudidas violentas. Situando sismógrafos en distintos puntos de la superficie, se pueden registrar las

vibraciones con gran precisión y determinar el punto de origen, la potencia y la forma. También se puede registrar cómo se desplazan las vibraciones por el interior de la Tierra. Estas observaciones han revelado que las ondas se desplazan de distinto modo según la clase de material que atraviesen; y sabiendo esto se pueden cartografiar los estratos que componen el planeta (véase la figura 3.1).

Más notables aún son las técnicas que nos permiten efectuar dataciones absolutas de fenómenos que ocurrieron hace muchos millones e incluso miles de millones de años. En realidad, esta capacidad para dar fechas absolutas en relación con acontecimientos del pasado remoto —incluidas las de la infancia de la Tierra— es uno de los rasgos más extraordinarios del moderno mito de la creación (véase el apéndice 1).

En el pasado las fechas antiguas se calculaban recurriendo a toda clase de técnicas^[5]. Una de las herramientas más importantes la constitúan los registros genealógicos. En la Europa del siglo XVII, los estudiosos de la Biblia utilizaban las listas genealógicas del Antiguo Testamento para calcular el momento en que Dios creó el mundo. A finales del siglo XVIII, los geólogos aprendieron a determinar la fecha relativa de muchos acontecimientos geológicos del pasado analizando los fósiles o rocas específicos que se encontraban en los diferentes estratos. Las fechas relativas no nos dicen con exactitud cuándo vivió un animal o cuándo se dejó allí una roca concreta, pero nos informan del orden en que se produjeron los acontecimientos. Los paleontólogos se volvieron expertos en fósiles concretos que podían emplearse como puntos de referencia de las dataciones relativas. En manos de un experto, una clase particular de trilobites o las extrañas huellas dentadas que dejaron unos seres antiquísimos que se llaman graptolitos pueden probar que determinadas rocas de diferentes partes del mundo se depositaron allí en la misma época. Estos métodos se utilizaron para elaborar las primeras versiones de la cronología geológica, que nos dice el orden aproximado en que aparecieron diferentes capas rocosas y diferentes clases de organismos (véase la tabla A1). Ya en el siglo XIX, incluso estas técnicas rudimentarias sugerían que la Tierra tenía más de 6000 años. No obstante, la mayoría de los científicos creían que podía tener unos cientos de millones de años.



La datación relativa se ha ido perfeccionando y hoy sigue siendo un instrumento muy eficaz para fechar rocas. Pero en el siglo xx se produjo una revolución decisiva con la aparición de las llamadas técnicas de datación radiométricas. En muchas situaciones son capaces de informarnos, con una exactitud asombrosa, de cuándo se formó un objeto concreto. Con estos métodos podemos determinar las fechas absoluta y relativa de muchos acontecimientos muy anteriores a la aparición de los humanos. Las técnicas de datación radiométricas se describen más detalladamente en el apéndice 1.

Las fechas de que nos servimos para reconstruir actualmente la historia de la formación de la Tierra se basan sobre todo en el análisis de material que sigue circulando por el sistema solar. El material de la superficie terrestre o del interior de su corteza se ha reciclado demasiadas veces para decírnos nada seguro sobre las primeras etapas de nuestro planeta. Las rocas más antiguas (que están en Groenlandia) tienen alrededor de 3800 millones de años, es decir, que aparecieron cuando el planeta tenía ya unos 800 millones de años. Para averiguar cuándo se formaron la Tierra y el sistema solar tenemos que servirnos de materiales que hayan permanecido inalterados desde entonces. Los meteoritos (en particular los llamados *condritos*) vienen como anillo al dedo, ya que al parecer son escombros de la nebulosa solar que dio origen a nuestro sistema planetario. Esto quiere decir que se formaron en los primeros tiempos; y han cambiado poco desde entonces. No es de extrañar por tanto que las técnicas radiométricas atribuyan por lo general a los

meteoritos una antigüedad de 4560 millones de años. Las rocas lunares más antiguas arrojan fechas parecidas. La proximidad de estas fechas y la ausencia de objetos más antiguos en el sistema solar sugieren que éste se formó hace alrededor de 4560 millones de años.

EL COMIENZO DE LA GEOLOGÍA MODERNA

¿Cómo se convirtió la caliente Tierra primitiva en la Tierra actual, con su cielo azul, su atmósfera abundante en oxígeno, sus montañas, sus continentes y sus océanos?

Antes de la década de 1960, la geografía y la geología eran ya disciplinas bien pertrechadas que habían acumulado muchos indicios sólidos sobre la formación de las masas de tierra y agua. Pero carecían de una idea organizadora que explicara la transición de los inhóspitos tiempos primitivos a las condiciones que conocemos actualmente. A finales de los años sesenta, con la formulación y difusión de la teoría de la tectónica de placas, las ciencias de la Tierra se articularon alrededor de una idea generatriz o paradigma tan eficaz como la teoría del *big bang* en la astronomía moderna. Por primera vez en la historia de nuestra civilización se pudo dar una versión coherente y científica de la historia del planeta.

La geología moderna se gestó en Europa, lo que significa que recibió la influencia de los mitos creacionistas del cristianismo. Pero, como hemos visto, ya en el siglo XVII se dudaba que la Tierra hubiera sido creada por Dios hacía sólo 6000 años. Un científico danés, Nicolaus Steno, adujo que los fósiles eran restos de organismos que habían vivido antiguamente. Adujo asimismo que las montañas se habían formado a lo largo de los milenios en virtud de procesos como la actividad volcánica. Estos postulados comportaban consecuencias trascendentales. Por ejemplo, daban a entender que los fósiles marinos encontrados en los Alpes a gran altura podían ser realmente restos de peces antiguos. Cualquier explicación no milagrosa tenía que admitir que los Alpes habían estado antiguamente bajo el agua. Y costaba creer que un proceso como la emergencia de una cordillera se hubiera producido en un período de sólo 6000 años sin la mediación de catástrofes planetarias u otros acontecimientos. Ciertos geólogos que tomaban por modelo el diluvio que describe la Biblia argüían que en la historia temprana de la Tierra había habido muchas catástrofes de gran magnitud. Y estas teorías permitieron, al menos en determinados círculos, defender la cronología del Génesis hasta el siglo XIX.

Pero entre los geólogos fue creciendo el escepticismo. En el siglo XVIII algunos se pusieron a cartografiar sistemáticamente los estratos de la corteza terrestre. Charles Lyell fue el primero en enunciar claramente lo que ha dado en llamarse principio del *uniformismo*. Era la tesis, adelantada ya por Steno, de que la Tierra no se formó con una serie de catástrofes, sino con el paso del tiempo y por obra de las mismas fuerzas

geológicas lentas que están en vigor actualmente. Estas fuerzas entrañaban procesos como el vulcanismo (actividad volcánica), capaz de elevar tierras por encima del nivel anterior, y la erosión, que desgasta lentamente el material de las montañas, las convierte en llanuras y, con el tiempo, las sumerge bajo las aguas. Lyell aducía que casi todos los rasgos de la Tierra moderna podían explicarse apelando a estos procesos opuestos, el que elevaba las montañas y el que tendía a desgastarlas. En sus *Principios de geología* (1830), un libro fundamental, expuso las inevitables consecuencias de su teoría: la Tierra no tenía miles de años, sino millones.

A finales del siglo XIX se admitía ya por convención que la Tierra llevaba rodando por lo menos 20 millones de años y quizá 100. Estas cantidades las infirió William Thompson (lord Kelvin) suponiendo que la Tierra y el Sol hubieran sido antiguamente bolas de materia derretida que se habían enfriado poco a poco. En esta interpretación, el factor fundamental en la historia del planeta era su paulatino enfriamiento durante millones de años. Conforme se enfriaba, el vulcanismo y la erosión habían ido perfilando la forma que tienen hoy los continentes y los mares. Hasta el descubrimiento de la radiactividad, a principios del siglo XX, y antes de que Marie Curie averiguara que los materiales radiactivos generaban calor, no se cayó en la cuenta de que el Sol y la Tierra podían tener fuentes de calor en su propio interior. Esto quería decir que probablemente se enfriaron más despacio de lo que había imaginado lord Kelvin y que los dos cuerpos podían ser mucho más antiguos de lo que indicaba su influyente cálculo.

WEGENER Y LA MODERNA TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS

Mientras tanto, una extraña observación realizada en el siglo XVII había llevado a ciertos pensadores a plantearse otras formas de describir la historia de la Tierra. Los primeros mapas modernos del mundo se trazaron un siglo después de que los europeos llegaran a América y al Pacífico. Como señaló Francis Bacon en 1620, era fácil ver en esos mapas que los continentes parecían piezas de un rompecabezas. La semejanza resultaba asombrosa cuando se comparaba la costa occidental de África con la oriental de Sudamérica. No hacía falta mucha imaginación para concebir que todos los continentes habían formado una sola superficie en tiempos antiguos. ¿Cómo se explicaba esta coincidencia?

La idea de que los continentes eran fruto de una disgregación recibió un sólido tratamiento científico en *El origen de los continentes y los océanos* (1915), del geógrafo alemán Alfred Wegener. El autor había reunido una importante cantidad de indicios que sugerían que los continentes habían estado unidos en tiempos primitivos. La coincidencia de los perfiles continentales era mucho mayor si, en vez de probar a unir los continentes por las costas, se unían por las plataformas. Wegener señaló además que muchos rasgos geológicos actuales parecían continuarse de un continente

a otro. Por ejemplo, describió una serie de formaciones rocosas, conocidas con el nombre de *cadena de Gondwana* y originadas al parecer por la actividad glacial. La cadena iba desde el norte de África hasta Australia, pasando por África occidental, Sudamérica y la Antártida. Wegener adujo que estos rasgos se originaron conforme estas regiones se desplazaban hacia el Polo Sur. En otras palabras, los continentes no habían estado siempre inmóviles en el mismo sitio, sino que habían ido «a la deriva» por la superficie del planeta. La teoría de Wegener acabó llamándose precisamente *deriva continental*.

Las pruebas presentadas por Wegener eran impresionantes, pero no explicaban cómo se habían desplazado por la superficie del planeta bloques de tierra como África, Asia o América. Por esta y otras razones, la influyente American Association of Petroleum Geologists condenó públicamente la teoría de Wegener en 1928. Durante cuarenta años la deriva continental se consideró poco más que una hipótesis interesante y la mayoría de los geólogos se dedicó a buscar explicaciones más convencionales para las anomalías estudiadas por Wegener. Hasta después de la segunda guerra mundial no se consiguió explicar cómo y por qué los continentes se desplazaban por la superficie del planeta. Pero una vez que se consiguió explicar, la idea de Wegener volvió a adquirir crédito. En realidad, con adiciones posteriores, es hoy la idea central de la geología moderna: la teoría de la tectónica de placas.

La moderna teoría de la tectónica de placas surgió gracias a ciertas tecnologías inventadas durante la segunda guerra mundial. La apertura de nuevos frentes fomentó la invención del sonar para la detección de submarinos. Pero el sonar servía también para cartografiar el fondo marino con una precisión sin parangón hasta entonces. Cuando los oceanógrafos se pusieron a investigar los detalles del fondo marino, se percataron de la extrañeza de ciertos rasgos. Uno era una larga cordillera que pasaba por el centro del Atlántico y por otros mares. En el centro de estas sierras oceánicas había cadenas de volcanes cuya lava se deslizaba hasta el fondo marino adyacente.

El estudio de los campos magnéticos de los lechos marinos adyacentes a las sierras oceánicas puso de manifiesto una rareza mayor. Mientras que las rocas próximas a las sierras tenían una orientación magnética normal, otras vetas algo alejadas presentaban a menudo una polaridad opuesta a la de la Tierra actual, con el Polo Norte en el sur y el Polo Sur en el norte. Más lejos aún volvía a invertirse la polaridad, y así sucesivamente, hasta comprobar que había una serie de vetas que alternaban la polaridad magnética. Los geólogos acabaron comprendiendo que es la propia polaridad de la Tierra lo que cambia cada varios centenares de milenios y que aquello significaba que las vetas se habían depositado en diferentes períodos. Cuando por fin se emplearon técnicas de datación más exactas, se puso de manifiesto que el lecho marino más joven era el más cercano a las sierras del centro del océano, mientras que las vetas más alejadas eran progresivamente más antiguas. Las más antiguas eran las más alejadas y éstas tenían a lo sumo 200 millones de años, es decir,

eran mucho más jóvenes que las partes más antiguas de la corteza continental, algunas de las cuales tienen casi 4000 millones de años.

En los años sesenta, y gracias a la iniciativa del geólogo norteamericano Harry Hess, empezó a haber una explicación coherente para todas estas anomalías. La lava que brotaba de las aberturas que agrietaban las dorsales oceánicas estaba formando otro lecho marino. Estas regiones reciben el nombre de *márgenes de expansión*. La lava se iba acumulando y acababa formando cordilleras de basalto, pero al mismo tiempo hacía de cuña y separaba el suelo anterior. En consecuencia, algunos océanos, como el Atlántico, se ensanchaban. Modernas observaciones vía satélite han revelado que el Atlántico es unos tres centímetros más ancho cada año; crece aproximadamente a la misma velocidad que nuestras uñas. Esto da a entender que el Atlántico se originó hace unos 150 millones de años, cuando ciertas partes de lo que hoy es América del Norte se separaron de lo que hoy es Eurasia occidental.

Este indicio no significaba que la Tierra se estuviera dilatando, porque los geólogos no dejaron de advertir que había zonas, como la costa occidental de Sudamérica, en que el lecho marino era tragado hacia el interior. Aquí estamos ante lo que se llama *márgenes de subducción*. En estas zonas, las placas tectónicas chocan, empujadas por el lecho marino que está ensanchándose en todo el mundo y presionando las placas de la corteza continental. El suelo oceánico, formado sobre todo por basaltos volcánicos, es más pesado que el material granítico que predomina en la corteza continental. Así que cuando una placa oceánica choca con una placa continental, ésta suele ponerse encima de la oceánica. La placa oceánica bucea por debajo de la continental y al final se hunde hacia el interior. (Este reciclaje continuo explica por qué la corteza oceánica suele ser mucho más joven que la continental). Los bloques de la corteza oceánica descendente raspan las placas continentales de encima y el material que tienen debajo, generando mucho calor y mucha presión. En Sudamérica, este calor, en combinación con los movimientos de los dos océanos que la abrazan y los de la placa continental, es responsable de la actividad volcánica que originó la cordillera de los Andes.

En otras zonas tenemos las denominadas *márgenes de colisión*, constituidas por regiones comprimidas de la corteza continental. El caso más espectacular es el de la India septentrional, punto donde la placa de la península indostánica empuja a la placa asiática. En estas zonas, los bordes de las dos placas se levantan y forman grandes cordilleras (en el caso indostánico, el Himalaya). Por último tenemos zonas donde las placas se cruzan mientras avanzan, como en el caso de la falla de San Andrés, en California. Casi todos los movimientos de las placas causan terremotos, porque con la fricción que se produce entre ellas y el material que hay debajo es casi imposible que no haya consecuencias aparatosas: tras un largo período de acumulación de presión, una placa suele saltar con violencia. Así que en principio se podría trazar el perfil de las placas tectónicas cartografiando las regiones de actividad sísmica más intensa.

El detallado relieve de regiones donde han chocado partes de la corteza ha revelado que la capa superior del planeta (la litosfera) consta de cierta cantidad de placas rígidas y es como una cáscara de huevo resquebrajada. Hay ocho placas grandes y siete pequeñas, además de balsas menores de material. Las placas se deslizan sobre un estrato de materiales más blandos, la astenosfera, que tiene entre 100 y 200 kilómetros de espesor. Las placas se mueven impulsadas por los movimientos de la astenosfera y también por la presión de materiales comprimidos que emergen de zonas más profundas por las junturas de las placas y a veces por sus grietas. Al igual que la espuma que se forma en la superficie del caldo cuando hierve, el material de las placas se dobla, se resquebraja y se mueve impulsado por las corrientes de materiales que hay debajo y que son más blandos, calientes y maleables. En otras palabras, es el calor del interior de la Tierra lo que aporta la energía que hace falta para desplazar grandes placas de materia por la superficie. Lo que genera este calor es sobre todo el material radiactivo que hay en el interior del planeta y que procede de la supernova que explotó poco antes de la formación del sistema solar. Tal era el motor geológico que Wegener no podía encontrar: era imposible que adivinara que los continentes se pasean por la superficie de la Tierra impulsados por la energía que queda de una supernova que explotó hace más de 4600 millones de años. Lo cual nos remite a la gravedad, porque fue esta fuerza lo que construyó y luego destruyó la estrella que pereció en la explosión.

La tectónica de placas es una teoría que unifica muchos aspectos de la geología. Nos ayuda a entender la formación de las montañas, la actividad volcánica y muchas anomalías geológicas estudiadas por geógrafos como Wegener. Y nos enseña que en principio podría reconstruirse la historia de la superficie de la Tierra indicando qué aspecto ha tenido en las diferentes épocas. Mientras tanto, el uso de sistemas de cartografía geológica más seguros, como el GPS (Global Positioning System), ha permitido medir con gran precisión el movimiento de las placas tectónicas.

BREVE HISTORIA DE LA TIERRA Y SU ATMÓSFERA

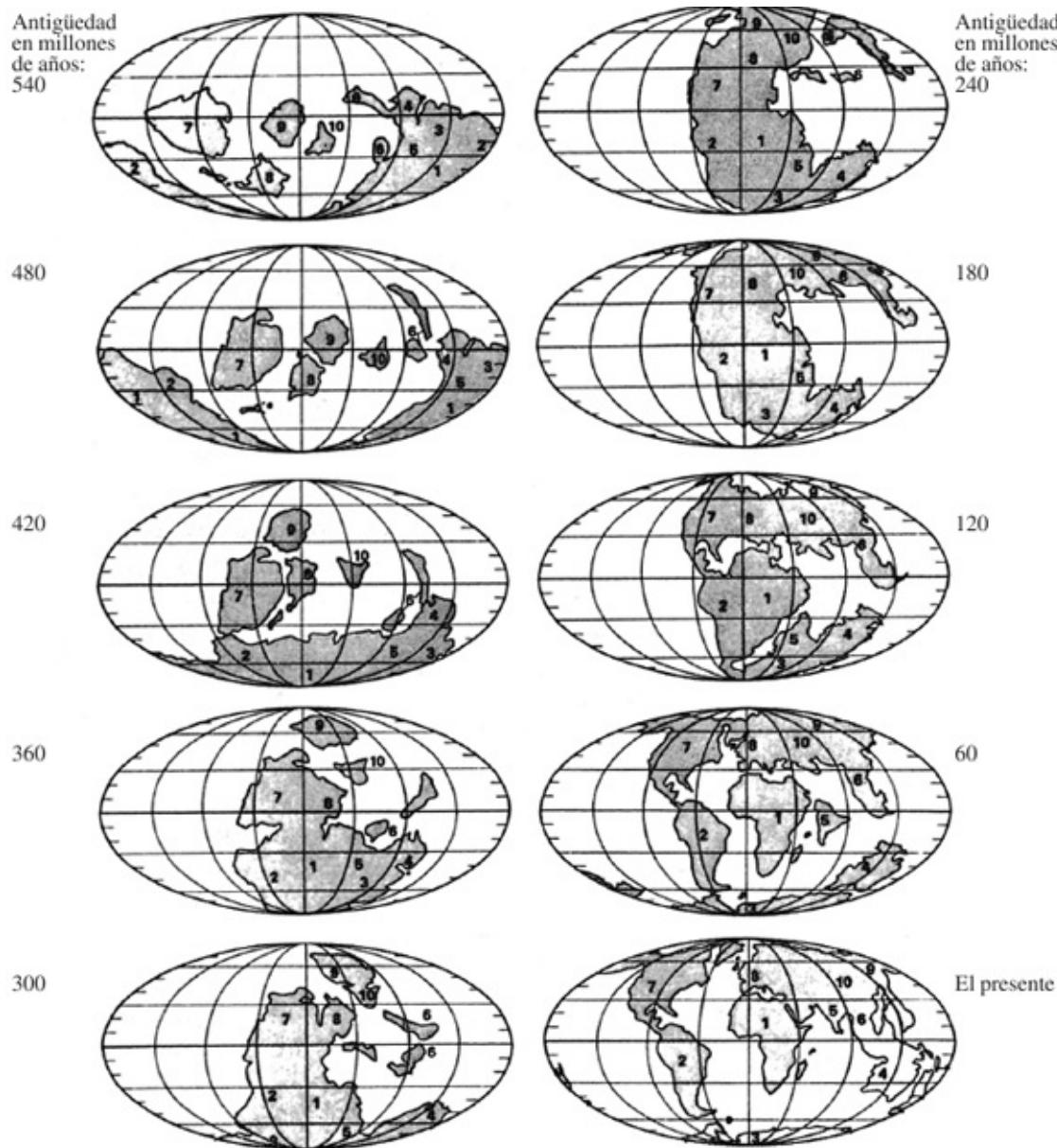
Con la teoría de la tectónica de placas y lo que sabemos sobre la formación de la Tierra podemos proponer una historia bastante coherente de nuestro planeta.

La fase hídica duró desde la formación del planeta, hace 4560 millones de años, hasta 600 millones de años después^[6]. La superficie estaba caliente, y era volcánica e inestable. Además, sufría constantes bombardeos de cometas y otros planetésimos que quedaban.

Hace 3800 millones de años, al principio de lo que los geólogos llaman *era arcaica*, había aparecido ya la corteza continental; lo sabemos porque aún quedan restos de corteza con esta antigüedad. También es probable que ya hubiera mares. En la atmósfera predominaban seguramente el anhídrido carbónico, el nitrógeno y el

ácido sulfídrico, transportado en buena parte por los cometas. Oxígeno libre había poco, porque el oxígeno es muy reactivo y, por lo tanto, se combina con otros elementos para formar compuestos químicos. Es posible que se estuvieran moviendo las partes más antiguas de la corteza continental, pero no estamos seguros de que la tectónica de placas funcionara entonces igual que en la actualidad. Con atmósfera y abundancia de agua, es probable que hubiera erosión y modificación de la superficie al mismo ritmo que en nuestros días. La erosión rápida y el bombardeo continuo explica por qué la primitiva superficie del planeta se construyó no una, sino muchas veces, aunque es un proceso del que prácticamente no quedan vestigios; lo que sabemos de las etapas iniciales de la historia de la Tierra sigue siendo esquemático.

Es probable que los primeros fragmentos de corteza formaran diminutos continentes de breve duración. Sin duda estaban rodeados por mares con multitud de islotes volcánicos, y había volcanes subterráneos. Hace unos 3000 millones de años, estos microcontinentes debieron de fundirse y formar placas mayores, pues en el núcleo de escudos continentales modernos, en África, América del Norte y Australia, hay placas de esta antigüedad. Pero no tenemos forma de saber dónde estaban estas placas antes de los últimos 500 millones de años.



MAPA 3.1. La Tierra en transformación: movimientos tectónicos durante 540 millones de años. De Cesare Emiliani, *The Scientific Companion: Exploring the Physical World with Facts, Figures, and Formulas*, John Wiley, Nueva York, 1995², p. 190; de Emiliani, *Dictionary of the Physical Sciences: Terms, Formulas, Data*, Oxford University Press, Oxford, 1987, p. 48, reproducido con permiso de Oxford University Press, Oxford, Inglaterra.

La geología moderna ha elaborado un cuadro de perfección creciente que nos muestra los movimientos tectónicos que se han producido desde entonces. Estos movimientos se han descubierto principalmente investigando la orientación magnética de rocas cuya edad se conoce. Partiendo de aquí, se puede calcular por encima dónde estaban cuando se formaron. Estos estudios arrojan al parecer una pauta muy simple de dispersión y convergencia. Hace unos 250 millones de años, casi todas las placas estaban unidas en un supercontinente que Wegener había bautizado Pangea. Estaba rodeado por un solo mar, llamado Panthalassa. Hace 200 millones de años, Pangea se dividió en dos grandes bloques. En el norte quedó Laurasia, que comprendía lo que hoy son Asia, Europa y América del Norte; en el sur, Gondwana, que abarcaba Sudamérica, la Antártida, África, Australia y la India.

Más tarde, también Laurasia y Gondwana se fragmentaron. Es posible que en la actualidad estemos en las primeras fases de otra convergencia, porque África y la India se desplazan hacia el norte. Ciertos indicios encontrados hace poco sugieren que unos 500 millones de años antes de la formación de Pangea había existido otro supercontinente que hoy denominamos Rodinia^[7]. Hoy por hoy es la fecha más antigua a la que podemos remontar la dinámica de la tectónica de placas (véase el mapa 3.1).

Esta historia es una parte fundamental del moderno mito de la creación, porque la distribución concreta de los continentes y los mares en las diferentes etapas de la historia de la Tierra ha desempeñado un papel decisivo en la aparición de las formas de vida y en el funcionamiento de las atmósferas y los climas, como veremos en el capítulo 5. Con estos y algunos otros mecanismos, la historia de la Tierra configuró la evolución de los organismos vivos. Los dos capítulos siguientes estudiarán cómo se adaptaron los organismos vivos a las cambiantes condiciones del planeta y cómo éste fue cambiando conforme se iba cubriendo de una tenue membrana de vida.

RESUMEN

El Sol y el sistema solar se formaron al mismo tiempo, hace unos 4560 millones de años, durante el hundimiento gravitatorio de una nube de materia. El Sol se formó en el centro de la nube y absorbió casi todo el material que contenía. Las salpicaduras de materia que quedaron fuera orbitaron alrededor de la nueva estrella, formando un disco plano. En el interior de las órbitas se formaron grumos de materia gracias a las colisiones y a la atracción gravitatoria, hasta que al final no quedó más que un cuerpo planetario en cada órbita. Como el viento solar había despejado ya los elementos más volátiles de la región central, los planetas interiores tendieron a ser más rocosos y los exteriores más gaseosos.

La Tierra se derritió al poco de formarse; los materiales pesados se hundieron hasta el núcleo y los más ligeros salieron a la superficie. Hace unos 4000 millones de años la estructura de su interior era parecida a la de nuestros días. En cambio, la superficie y la atmósfera experimentaron muchos cambios antes de tener el aspecto actual. Desde la aparición de la teoría de la tectónica de placas, en los años sesenta, ya no cabe duda de que las placas continentales se han ido desplazando lentamente por la superficie del planeta, cambiando poco a poco la forma de los continentes y los mares.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Hay muchas historias excelentes de la Tierra y entre ellas hay que mencionar *The Story of Earth* (1986), de Peter Cattermole y Patrick More, y *A Short Story of Planet Earth* (1996), de J. D. Macdougall. Los libros de Preston Cloud (*El cosmos, la tierra y el hombre*, de 1978, y *Oasis in Space*, de 1988) son clásicos, aunque algunos de sus detalles podrían haber caducado. *Our Cosmic Origins* (1998) de Armand Delsemme y *The Scientific Companion* (1995²) de Cesare Emiliani resumen muchos detalles técnicos, mientras que *Earth and Life through Time* (1986) de Steven Stanley describe la estrecha relación que hay entre la historia del planeta y la historia de la vida. Los diversos libros de James Lovelock sobre la hipótesis de «Gaia» describen también la historia de la Tierra y de la vida como una andadura interrelacionada. Los títulos de Isaac Asimov son resúmenes muy amenos, pero algunos han quedado un poco anticuados. El breve trabajo de Ross Taylor, «The Solar System: An Environment for Life?» (2002), describe bien hasta qué punto las contingencias han hecho que cada planeta sea único.

Segunda parte
LA VIDA EN LA TIERRA

Capítulo 4

EL ORIGEN DE LA VIDA Y LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

LA VIDA: UN NUEVO NIVEL DE COMPLEJIDAD

«¿Qué es la vida?». El físico Erwin Schrödinger formuló esta pregunta en una famosa serie de conferencias que pronunció en Dublín en 1943. La respuesta que dio el mismo conferenciante fue notablemente previsora, ya que la dio antes de que se conociera la base genética de la vida. Adujo que había que explicar la vida con el mismo rigor científico con que explicábamos la física o la química. Sin embargo, se dio cuenta de que no podíamos definir la vida remitiéndonos simplemente a una lista de funciones. Al igual que todas las entidades complejas, los organismos vivos administran importantes cantidades de energía y materia, de modo que deben tener alguna clase de metabolismo. Ingieren y expulsan energía y nutrientes. Se reproducen, al igual que muchas otras entidades complejas aunque no vivas, desde los tornados hasta los cristales. Así pues, ni el metabolismo ni la reproducción pueden dar por sí solos una definición satisfactoria de la vida; lo fundamental es su funcionamiento combinado, que es capaz de crear otro nivel de complejidad. Schrödinger sugirió en consecuencia otra forma de definir lo característico de la vida. La vida no es únicamente compleja: es mucho más compleja que ninguna otra cosa en el universo; y el nivel de orden alcanzado por los organismos vivos es notable, dada la tendencia general del universo hacia el desorden. «El despliegue de acontecimientos que se produce en el ciclo vital de un organismo muestra una regularidad y un orden admirables, sin parangón en la materia inanimada^[1]».

Las estrellas pueden remontar la escalera de bajada de la termodinámica (véase el apéndice 2), pero los organismos vivos la remontan con más agilidad. Eric Chaisson ha dicho que el nivel de complejidad alcanzado por los organismos vivos puede medirse, aproximativa pero objetivamente, calculando la densidad del flujo de energía que los sostiene frente a la presión destructiva de la segunda ley de la termodinámica^[2]. La tabla 4.1 recoge los valores que Chaisson otorga a estos flujos de energía. La columna de la derecha, que mide la cantidad de energía libre que cruza una masa dada en determinada cantidad de tiempo, indica que los organismos vivos pueden administrar, sin desintegrarse, flujos de energía mucho más densos que las estrellas. Y esta capacidad es lo que les permite subir más arriba y más rápido por la escalera de bajada de la termodinámica. Según la célebre expresión de Schrödinger, los organismos vivos parecen tener una capacidad asombrosa «para absorber orden de su entorno sin cesar^[3]». Las estructuras más simples son las más antiguas y las más complejas son más recientes, lo que sugiere que producirlas fue una labor evolutiva más costosa. Por último, salta a la vista que las entidades complejas del final de la tabla son también más frágiles. Mientras que las estrellas y los planetas duran miles

de millones de años, los organismos vivos más grandes (al menos los que conocemos) viven sólo unos miles de años, y la mayoría vive sólo unos días o unos cuantos años. Que las estructuras más complejas se desintegren tan aprisa es un indicio de la dificultad de administrar flujos de energía particularmente densos: es el precio que paga el organismo vivo por su agresivo cuestionamiento de la segunda ley de la termodinámica. Así pues, al tratar de la vida tratamos también con un nivel nuevo de orden y complejidad, con una capacidad superior para controlar y organizar energía libre que se adquiere a cambio de una mayor fragilidad. Como ha dicho Martin Rees: «Una estrella es más simple que un insecto^[4]». Pero la estrella vive mucho más.

Es posible que los procesos químicos hayan generado vida en otros puntos del universo, pero hasta la fecha no sabemos nada al respecto. Lo que sí sabemos es que la vida apareció en la Tierra antes de que el planeta tuviese 600 millones de años. Según los cánones geológicos, y dadas las duras condiciones de la Tierra primitiva, fue un proceso rápido. Y desde el instante en que la vida apareció, los organismos se multiplicaron y se transformaron en una sucesión vertiginosa y aparentemente infinita de formas nuevas, todas con capacidad para administrar los recursos y energías concretos de su entorno inmediato. A diferencia de las estrellas y los cristales, que son máquinas antientrópicas generales y útiles para todo, los organismos vivos pueden adaptarse continuamente a un territorio nuevo y a nuevos problemas con su más flexible guerra de guerrillas contra la entropía. Los organismos vivos exploran colectivamente su entorno de un modo que no tiene parangón en el mundo inanimado. Y encuentran nuevas fuentes de energía y nuevas formas de organizarse para sobrevivir al huracán de energía que los atraviesa. No todos los cambios producen mayor complejidad, pero algunos sí. Por este motivo, la vida tiene esa asombrosa capacidad para idear nuevas modalidades de complejidad.

TABLA 4.1. ESTIMACIÓN DE TASAS DE DENSIDAD DE ENERGÍA LIBRE.

<i>Estructura genérica</i>	<i>Tasa de densidad de energía libre (erg s⁻¹ g⁻¹)</i>
Galaxias (por ejemplo, la Vía Láctea)	1
Estrellas (por ejemplo, el Sol)	2
Planetas (por ejemplo, la Tierra)	75
Plantas (biosfera)	900
Animales (por ejemplo, el cuerpo humano)	20.000
Cerebros (por ejemplo, el cráneo humano)	150.000
Sociedades (por ejemplo, la cultura humana moderna)	500.000

FUENTE: Eric Chaisson, *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Harvard (Massachusetts), 2001, p. 139.

¿Cuál es la fuente del diferencial de energía que sostiene estas entidades complejas? La respuesta a esta pregunta está clara: la fuente última es la gravedad. Hemos visto que la gravedad puede formar estrellas, objetos de gran densidad y altas temperaturas. Pero el universo en su conjunto es extremadamente frío; su temperatura media es de unos 3 grados centígrados por encima del cero absoluto, la temperatura de la radiación cósmica de fondo. Las estrellas están, pues, incrustadas en el frío universo como puntos diminutos que producen luz y calor. No es casualidad que vivamos pegados a una estrella, pues desde donde estamos podemos controlar el tremendo flujo de energía que brota hacia el espacio desde el horno nuclear que hay en el centro del Sol.

En cuanto a las leyes de complejidad de los organismos vivos, son diferentes de las que dominan a escala astronómica. Los organismos individuales (al menos los que conocemos) prosperan a escalas mucho menores que las estrellas o los planetas. La gravedad tiene un papel en estas escalas menores, pero hay otras fuerzas con un papel más importante. La vida está moldeada sobre todo por el electromagnetismo y por las fuerzas nucleares que rigen el funcionamiento del átomo. Son las fuerzas que determinan cómo se unen los átomos para formar moléculas, que son entidades mayores y más complejas.

Pero en el nivel de complejidad biológico aparecen también nuevas leyes. Los organismos vivos operan de acuerdo con leyes de cambio más flexibles que se superponen a las leyes de la física y la química, que son más simples y más deterministas. Las leyes de la biología han llegado a establecerse gracias a la gran precisión con que los organismos se reproducen. Administrar grandes flujos de energía es tan delicado que exige un mecanismo muy preciso; el manual de instrucciones para formar y reformar estas estructuras tiene que ser complejo, exacto y seguro. Un sistema de reproducción que copie los mecanismos de manera aproximativa no tardará en perder la exactitud requerida (y el que los copie a la perfección eliminará toda posibilidad de cambio). Así, un elevado nivel de precisión metabólica exige un nivel elevado (pero no perfecto) de precisión reproductora. Tal es el motivo de que los organismos grandes como nosotros necesiten más información genética que las bacterias. Es asimismo la razón de que casi todos los que han estudiado el origen de la vida se hayan concentrado en el origen del código genético, el intrincado *software* molecular que explica por qué los organismos vivos se reproducen con una precisión no igualada por ninguna otra entidad compleja.

En general, el paso de la química a la vida es una de las grandes transiciones de la historia del universo. Los organismos complejos, al reproducirse de acuerdo con un programa nuevo y rigurosamente preciso, introdujeron nuevas modalidades de cambio histórico, fundamentalmente en este planeta, pero también en otras partes del universo. Conforme los compuestos químicos se van combinando para producir

organismos vivos, se van perfilando propiedades que no pueden explicarse estudiando los compuestos químicos que los componen. Así pues, para conocer a los seres vivos necesitamos otro paradigma, un paradigma que nos lleve más allá de las leyes de la física nuclear, de la química y de la geología y nos adentre en el reino de la biología. Este capítulo analizará las leyes básicas por las que cambian los organismos vivos y algunas ideas actuales sobre el origen de la vida en la Tierra. Se centra en las ideas de Charles Darwin, que fue el primero que describió con claridad las características de las leyes del cambio. El capítulo siguiente repasará la historia de la vida en el planeta.

DARWIN Y LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Muchas sociedades se han explicado la vida suponiendo que hay un espíritu o dios creador que sin saber cómo infundió vida en la materia. La ciencia moderna piensa que esta explicación opta por el camino más fácil, porque las teorías que dependen de las divinidades pueden explicarlo prácticamente todo y no están sometidas a la comprobación objetiva. Por el contrario, la ciencia moderna explica el origen de la vida alegando que es consecuencia de procesos y fuerzas inanimados, lo mismo que el Sol y la Tierra.

La idea básica que emplea la biología moderna para explicar la aparición y desarrollo de la vida es la de «evolución por selección natural». La teoría se expuso de forma sistemática por vez primera en *El origen de las especies* (1859) de Charles Darwin^[5]. Darwin apenas utilizó el término «evolución», tal vez porque parece evocar alguna especie de fuerza mística que impulsa el cambio biológico en una dirección concreta y esto habría ido contra su concepción de que el cambio biológico era un proceso sin desenlace predeterminado. En cambio, Herbert Spencer, que hizo todo lo posible por la divulgación del término, veía el cambio biológico como un movimiento que iba de las formas de vida «inferiores» a las «superiores». No fue una iniciativa afortunada, porque un enfoque así introduce juicios de valor arbitrarios y subjetivos en nuestro conocimiento de la historia de los organismos. A pesar de las asociaciones que arrastra la palabra *evolución*, seguiremos utilizándola porque sigue siendo la más común para describir la teoría darwiniana del cambio biológico.

Darwin aducía que las especies no son entidades fijas. Están cambiando continuamente y este cambio está regido por unas cuantas leyes sencillas. Una especie es una serie de organismos individuales no idénticos, pero con parecido suficiente para reproducirse entre sí. Las especies se definen por los rasgos que comparten los individuos y no por sus pequeñas diferencias. Sin embargo, es posible que las variantes aleatorias de los rasgos de los individuos modifiquen a muy largo plazo los rasgos medios de toda una especie. Puede cambiar, por ejemplo, la estatura media, o puede crecer el tamaño medio del encéfalo. Estos cambios menores,

acumulados durante miles de generaciones, transforman al final la fisonomía media de toda la especie. Por lo tanto, para entender cómo cambia una especie debemos entender cómo y por qué los rasgos de unos individuos se vuelven más comunes, mientras que los de otros se difuminan y desaparecen.

Darwin sabía que en casi todas las poblaciones sólo una minoría de individuos llega a la madurez y tiene descendencia. El futuro de la especie está en manos de estos individuos que sobreviven y se reproducen. Así pues, todas las generaciones posteriores descienden exclusivamente de los supervivientes. (Parece que la evolución, como la historia, la escriben los vencedores). Pero ¿qué determina que unos individuos se reproduzcan y otros no? La casualidad, como es lógico, podría tener aquí un papel. Pero a largo plazo, argüía Darwin, los individuos que probablemente más sobrevivirán y se reproducirán serán los que hayan tenido la suerte de heredar de sus padres rasgos que los hayan adaptado un poco mejor a su entorno. Éstos transmitirán esos mismos rasgos a casi todos sus descendientes. Con el tiempo, estos rasgos se volverán dominantes, porque los individuos que no los posean tendrán menos descendientes sanos y su linaje acabará extinguiéndose. Después de miles de generaciones, la acumulación de cambios menores de esta clase hará que la especie entera parezca cambiar o evolucionar para adaptarse mejor al entorno. Podemos decir, en sentido figurado, que el entorno, de manera «natural», selecciona unos rasgos y descarta otros, del mismo modo que los ganaderos, de manera «artificial», seleccionan unos ejemplares para el apareamiento y no otros. En este mismo sentido figurado, la especie, con el tiempo, se «adapta» a su entorno natural.

El concepto de *adaptación* es tan importante en la biología moderna que vale la pena definirlo con más exactitud. Se refiere al hecho de que todos los organismos vivos parecen ser escrupulosamente aptos para estar en el entorno en que viven. En realidad, la adecuación entre organismos y entorno es tan perfecta que muchos enemigos de Darwin adujeron, y todavía aducen, que órganos como el ojo humano y la trompa del elefante tenían que deberse al diseño de un creador bondadoso. Darwin se esforzó por demostrar que los procesos naturales podían hacer el trabajo igual de bien. La adaptación permite explicar la gran variedad de organismos vivos que hay, porque los organismos se pueden adaptar a muchísimos entornos. Para describir los diferentes entornos, los biólogos y ecólogos hablan de *hábitats* y de *nichos*. El hábitat es simplemente el entorno geográfico en que vive una especie. La idea de nicho es más complicada, ya que abarca además la forma de vida de la especie. La palabra «nicho» proviene del italiano *nicchia*, que a su vez procede del latín *nidus*, «nido». En arquitectura, un nicho es una cavidad que se abre en un muro con fines constructivos (para soportar cargas), funcionales (para enterrar a los muertos) o de decoración (para poner esculturas u otros objetos). En biología y ecología, el nicho es el modo de vida concreto para el que un organismo parece haber sido forjado o adaptado por los procesos evolutivos. El nicho del pájaro carpintero se define por el hecho de que sabe encontrar insectos comestibles en determinados

árboles; muchas bacterias unicelulares encuentran nichos atractivos en los intestinos de animales mayores, entre ellos nosotros. Pero, como es lógico, también los entornos cambian, y al cambiar, aunque algunos nichos antiguos se cierren, pueden abrirse otros nuevos en otra parte. Como los entornos son variados y mudables, los organismos han de adaptarse continuamente si quieren sobrevivir. Es el motivo de que la evolución no tenga fin. Como no hay ningún criterio fijo de perfección o «progreso», la adaptación es un proceso infinito.

Los biólogos modernos se sirven de la idea de evolución para explicar la extraordinaria variedad de formas de vida que hay en la Tierra. También la utilizan para explicar la aparición de la vida en el planeta, porque parece que algunas sustancias no vivas podrían haber evolucionado en virtud de una forma simplificada de selección natural. Con el tiempo y un entorno favorable, al final fueron organismos vivos. La idea de evolución es tan fundamental para el conocimiento moderno de lo que es la vida y cómo cambia que nuestra versión de la historia de la vida en la Tierra debe comenzar describiendo la teoría más detalladamente y viendo cómo evolucionó, también ella, a partir de teorías anteriores sobre la aparición de la vida en toda su variedad.

ORIGEN DE LA MODERNA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Hemos visto que en los siglos XVII y XVIII hubo científicos europeos que pusieron en duda el mito creacionista de la Biblia judeocristiana. La Biblia parecía decir que las especies fueron creadas por Dios hace unos 6000 años y que esencialmente se habían mantenido como Dios las había creado. Esta idea fue defendida incluso por Linneo, el botánico sueco del siglo XVIII que fundó el sistema moderno de *taxonomía* o clasificación biológica. Sin embargo, esta versión de las cosas tropezaba con dificultades incluso en aquellos tiempos. Por ejemplo, había muchos fósiles que sugerían que habían existido criaturas extrañas no mencionadas en la Biblia ni en la historiografía. Ciertas criaturas que parecían marinas se habían encontrado en lo alto de montañas que habían tardado millones de años en formarse, y otras se habían hallado incrustadas en las rocas. Este emplazamiento sugería que habían sido enterradas hacía millones de años.

Además, estaba el hecho, conocido por todos los granjeros, de que los perros, los gatos, las vacas y las ovejas no son especies tan fijas como podría parecer. Eligiendo cuidadosamente las parejas, los criadores de palomas o de perros podían obtener animales muy extraños. A Darwin le fascinaban las actividades de los criadores de palomas, y él mismo pertenecía a dos clubes de colombofilia de Londres. En una página describe algunas variantes que observó, todas descendientes al parecer de la paloma silvestre común:

Compárense la mensajera inglesa y la volteadora de cara corta y se advertirá la asombrosa diferencia de sus picos, que fuerza las correspondientes diferencias en el cráneo. La mensajera, especialmente el macho, es también notable por el prodigioso desarrollo, en la cabeza, de las carúnculas nasales, párpados muy largos, orificios externos de la nariz muy grandes y una gran abertura de boca. La volteadora de cara corta tiene un pico cuyo perfil es casi como el de un pinzón; y la volteadora común tiene la particular costumbre hereditaria de volar a gran altura, en bandada compacta, y dar volteretas en el aire. La paloma *runt* es un ave de gran tamaño, con pico largo y sólido y pies grandes; unas subrazas tienen el cuello muy largo; otras, alas y cola muy largas; otras, cosa rara, cola corta. [...] La buchona tiene el cuerpo, las alas y las patas muy largos; y su buche enormemente desarrollado, que la paloma se enorgullece de hinchar, puede muy bien producir asombro y hasta risa^[6].

¿Pertenecían estas exóticas criaturas a la misma especie que Dios había creado al principio? ¿O eran especies completamente nuevas? Si eran nuevas, entonces había que suponer que Dios estaba retocando la vida sin cesar, y estos retoques parecían dar a entender que la creación original no había sido precisamente perfecta. Gracias a los numerosos viajes de exploración realizados en los siglos posteriores a Colón, los europeos empezaron a advertir que había muchas más especies que las mencionadas en la Biblia. Las múltiples diferencias que había entre la flora y la fauna del Pacífico, América y Eurasia planteó un problema a los teólogos cristianos. ¿Había creado Dios todas las especies? Si las creó, ¿qué sentido tenía tanta abundancia? ¿Y por qué las había repartido por todo el planeta de un modo tan raro y arbitrario? ¿Por qué no había canguros en Inglaterra ni pandas en Australia?

Algunos biólogos de finales del siglo XVIII pensaban ya que los organismos vivos podían haber cambiado con el tiempo por obra de alguna clase de mecanismo natural, porque era absurdo suponer que Dios estaba retocando continuamente la creación. Tal vez dicho mecanismo explicara por qué había tantas especies y subespecies, y por qué no se describían todas en el relato bíblico de la creación. Pero el problema era que nadie sabía cómo cambiaban las especies ni por qué.

Ya a principio del siglo XIX, Erasmus Darwin, tío de Charles Darwin, sugirió que las especies evolucionaban para adaptarse mejor al entorno. Esta explicación tenía lógica, porque todas las especies vivas parecen ciertamente adaptarse a su entorno con gran precisión. Pero, al igual que los demás biólogos de la época, no sabía explicar cómo se habían adaptado tan bien. El naturalista francés Jean-Baptiste de Lamarck concibió un mecanismo posible en un libro publicado en 1809. Según él, algunos pequeños cambios sufridos por un individuo en el curso de su vida se transmitían a sus descendientes. Por ejemplo, para alcanzar las hojas de los árboles, las jirafas primitivas habían tenido que estirar el cuello y las que más lo habían estirado transmitieron este rasgo a sus descendientes. Poco a poco se había ido generalizando el cuello largo hasta que con el tiempo pasó a ser el rasgo distintivo de toda la especie. Por desgracia, cualquier pastor o ganadero se habría dado cuenta de que la teoría fallaba. Las características *adquiridas* —es decir, las cualidades adquiridas por un estilo de vida concreto o por los actos de un individuo— no suelen transmitirse a los descendientes. Sólo se transmiten las características *heredadas*. El tiempo que pasamos en el gimnasio no repercutirá en la forma física de nuestros

hijos. Un cerdo cebado no tiene por qué engendrar cerdos gordos, pero un cerdo con antepasados gordos seguramente tendrá descendientes gordos.

El mecanismo de Lamarck no servía. Pero si la composición genética de los organismos estaba determinada por su *pasado* (por lo que heredaban de sus progenitores), ¿cómo es que podían adaptarse a las condiciones del *presente*? Éste fue el enigma que resolvió Darwin. A Darwin le fascinaban los animales desde niño y a los veintitantes años era ya un experto naturalista. Al igual que casi todos los naturalistas de la época, sabía que las especies son maleables. También sabía que los humanos estaban capacitados para alterar las especies mediante la selección artificial. Lo que aún no sabía era por qué las especies cambiaban sin la intervención de los humanos. ¿Qué, salvo un dios o un ser humano, podía hacer que unos individuos se reprodujeran y otros quedaran condenados a la extinción general?

En 1831, gracias a sus méritos personales y a los afortunados contactos de su familia, embarcó como naturalista en un buque llamado *Beagle*, que tenía la misión de dar la vuelta al mundo. Darwin quedó asombrado ante la cantidad de especies que vio durante el viaje y ante las sutilísimas variaciones que advirtió entre especies estrechamente emparentadas. También vio pruebas fósiles de evolución en animales como los armadillos. En América del Sur vio fósiles de animales muy parecidos a especies todavía vivas. Fue en las islas Galápagos, frente a la costa pacífica de Ecuador, donde dio con las pistas que lo condujeron a su teoría de la evolución. Allí, en una serie de islas volcánicas de formación reciente, encontró varias especies de pinzones que se parecían mucho a los pinzones de la América continental. Sin embargo, los de cada isla eran ligeramente distintos de los demás. El pico, por ejemplo, presentaba ligeras variaciones que revelaban que cada especie se había adaptado con una precisión extraordinaria a la fauna y la flora peculiar de su isla.

Allí estaba la prueba de la adaptación de la que había hablado Erasmus Darwin. Saltaba a la vista que, en cierto modo, las especies se «adaptaban» a las cambiantes condiciones de su entorno. Pero ¿cómo se adaptaban? Alrededor de 1838 Darwin leyó a Thomas Malthus, el precursor de los modernos estudios demográficos, y parece que esta lectura le sugirió la idea central de su teoría. Malthus señalaba que en casi todas las especies, incluida la humana, había muchos individuos (a veces un porcentaje muy elevado) que no vivían lo suficiente para tener descendencia. Darwin tuvo que comprender de inmediato que sólo los individuos que se reproducían podían tener alguna influencia en la naturaleza de las generaciones posteriores. Así pues, era importante explicar por qué unos individuos sobrevivían y otros no. Cuando investigó las actividades de los criadores de palomas, encontró la respuesta. Los criadores seleccionaban artificialmente unos individuos y sólo permitían que se reprodujeran ellos. En la época de Darwin, era ya un arte muy desarrollado:

El criador más experto, sir John Selbright, solía decir, refiriéndose a las palomas, que «era capaz de conseguir cualquier pluma en tres años, pero que le costaría seis conseguir la cabeza y el pico». En Sajonia, la importancia del principio de la selección, por lo que se refiere a la oveja merina, está tan ampliamente

reconocida que se ejerce como un oficio: las ovejas son colocadas en una mesa y estudiadas como un cuadro por un perito; esto se hace tres veces, con algunos meses de intervalo, y las ovejas son marcadas y clasificadas cada vez, para que sólo las mejores acaben seleccionadas para la cría^[7].

Pero ¿qué factor producía la selección en el mundo natural? ¿Qué factor «seleccionaba» unos individuos para que se reprodujeran y condenaba a otros a la extinción genética? ¿Qué diferencia había entre los individuos que se reproducían y los que no?

La respuesta, dijo Darwin, era la «aptitud». En sentido estadístico, tenía que ser cierto que los individuos que sobrevivían y tenían descendencia sana eran un poco más sanos que los que no sobrevivían. Se reproducían porque tenían salud suficiente para vivir más que otros y encontrar una pareja sana. Como es lógico, la suerte pudo haber tenido un papel en algunos casos concretos. (Poco importa si un individuo es muy «apto» si le cae un rayo de pronto). Pero cuando hablamos de poblaciones extensas y de largos períodos, es evidente que la aptitud tuvo que desempeñar un papel decisivo. Por término medio, los individuos que vivían lo suficiente para alcanzar la madurez y reproducirse tenían que ser un poco más sanos que los que morían, tenían que estar un poco mejor adaptados al entorno. No era, pues, que las especies se adaptaran; era todo lo contrario. Los individuos que por casualidad estaban mejor adaptados eran los que tenían más probabilidades de sobrevivir y de perfilar las generaciones futuras de la especie.

Darwin comprendió que este sorteo estadístico aleatorio, que se da en todas las formas de vida generación tras generación, podía alterar una especie con la misma efectividad que un criador de palomas, si se repetía con frecuencia suficiente. El entorno eliminaba a unos y dejaba que otros vivieran, y esto una y otra vez, millones de veces en cada generación. Las generaciones posteriores heredaban sólo las cualidades de los supervivientes; en consecuencia, la especie, con el paso del tiempo, acaba pareciéndose más a los supervivientes que a los extinguidos. Metafóricamente hablando, el entorno se comportaba como un criador de animales humano. Por eso llamó Darwin «selección natural» a su mecanismo, para diferenciarla de la «selección artificial» practicada por los criadores de animales.

Así pues, unos procesos puramente estadísticos y totalmente mecánicos, repetidos una y otra vez, podían explicar cómo una especie cambiaba de tal forma que siempre se estaba adaptando a un entorno cambiante. Para entender bien este argumento es necesario entender la naturaleza aleatoria de estos procesos. Entre progenitores y vástagos hay siempre ciertas pequeñas diferencias que son básicamente aleatorias. Los individuos no «se esfuerzan» por adaptarse, porque no son ellos los que «evolucionan», sino los rasgos medios de la especie.

Darwin dijo que estos mecanismos, repetidos durante períodos muy largos, podían explicar además cómo aparecían especies distintas, porque es evidente que las poblaciones de una sola especie que viven repartidas por un área muy grande y sufren la influencia de entornos ligeramente distintos tienen muchas probabilidades de

evolucionar de manera ligeramente distinta. Los pinzones de las Galápagos le revelaron cómo era la etapa primitiva de la creación de varias especies. Con tiempo suficiente, decía Darwin, estos procesos explicaban toda la variedad de seres vivos que poblaban la Tierra. Como admirador del geólogo Charles Lyell, estaba convencido de que la Tierra existía desde hacía mucho tiempo, el suficiente quizás para que unos cambios tan minúsculos crearan la inmensa variedad de las especies actuales.

Fueron unas conclusiones asombrosas, porque suponían algo revolucionario: todos los hermosos y complejos organismos de la Tierra, desde las amebas hasta los seres humanos, pasando por los elefantes y los colibríes, podían surgir de un proceso mecánico y repetitivo. Al parecer, los procesos inconscientes pueden engendrar no sólo estrellas y galaxias, sino también la vida misma^[8]. Esta argumentación privaba a Dios de toda razón de ser, por eso ha encontrado, y todavía encuentra, tanta resistencia la teoría darwiniana.

He aquí cómo describía el propio Darwin el funcionamiento de la selección natural:

No hay a la vista ningún motivo por el que los principios que tan eficazmente han obrado en la domesticación no deban obrar del mismo modo en la naturaleza [...] porque] nacen más individuos de los que sin duda pueden sobrevivir. Un grano en la balanza determinará qué individuos vivirán y cuáles no, qué variedad o especie será más numerosa y cuál se reducirá o al final se extinguirá. [...] A causa de esta lucha por la vida, cualquier variación, por ligera que sea y venga de donde venga, si es vagamente provechosa a un individuo o una especie, en sus relaciones infinitamente complejas con otros seres orgánicos y con la naturaleza exterior, tenderá a la conservación de ese individuo y probablemente será heredada por su descendencia. Esta descendencia tendrá también de este modo más probabilidades de sobrevivir, porque entre todos los individuos de cualquier especie que nacen periódicamente, sólo sobrevive una reducida cantidad. A este principio, por el que se conserva, si es útil, cada ligera variación, le he dado el nombre de selección natural^[9].

PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN NATURAL

Darwin, en *El origen de las especies*, expuso con toda la claridad posible los argumentos con que defendía su teoría evolutiva. Además, procuró resolver algunas posibles objeciones a la misma. Se hacía pocas ilusiones sobre las dificultades que le esperaban. Casi todos sus lectores eran cristianos tradicionales. Creían que Dios había creado distintas especies y les escandalizaba la idea de que éstas pudieran haber surgido por un proceso mecánico. De modo que fue a este público al que Darwin dirigió casi todos sus razonamientos.

Basándose en el registro fósil adujo que las especies parecían cambiar con el tiempo. Pero éste era quizás el argumento más débil que tenía, porque el registro fósil consiste en una serie de «fotos» de individuos fosilizados; sus enemigos podían replicar fácilmente arguyendo que cada una correspondía a una especie distinta, creada por Dios independientemente y extinguida en la actualidad. Lo que Darwin tenía que demostrar era la existencia de especies *de transición*. Algunos fósiles

parecían estar a medio camino entre formas animales existentes. El fósil más célebre de esta clase era el arqueornita, un dinosaurio volador que vivió hace 150 millones de años y que comprende un solo género llamado *Archaeopteryx*. El arqueornita era mitad ave y mitad reptil. El primer espécimen se encontró en 1862, tres años después de la publicación de *El origen de las especies*, y Darwin introdujo algunos comentarios al respecto en ediciones posteriores. Era exactamente el tipo de descubrimiento previsto por su teoría. Sin embargo, tampoco esta vez resultaba difícil a sus enemigos señalar que el registro fósil era muy deficiente. Había grandes lagunas en todos los linajes fósiles, de modo que el registro fósil, por sí solo, no podía aportar ninguna prueba por completo satisfactoria del funcionamiento de la selección natural.

Darwin presentó multitud de testimonios de muchas clases en defensa de su teoría. Adujo que si las especies modernas de un lugar dado tenían muchos rasgos comunes era porque procedían de antepasados comunes. Por extraño que parezca, el testimonio que apoyaba esta afirmación era más convincente cuando se refería a rasgos aparentemente inútiles que habían sido transmitidos por antepasados remotos por una especie de conservadurismo biológico. Las ballenas tienen falanges en las aletas, cosa que actualmente no parece tener ninguna función adaptativa. Pero su existencia es lógica si pensamos que las ballenas modernas descienden de animales terrestres que en su época utilizaron manos y dedos. En realidad, las ballenas modernas podrían ser parientes lejanas de los hipopótamos, una especie de mamíferos contemporáneos que parecen estar en las primeras etapas de adaptación a un estilo de vida acuático. La teoría de la selección natural podía explicar estos fenómenos fácilmente, porque sugería que los organismos evolucionaban por etapas casi imperceptibles, conservando buena parte del bagaje del pasado, aunque algunos rasgos dejaran de tener utilidad. Este argumento era particularmente convincente porque las teorías tradicionales no sabían explicar bien este fenómeno. ¿Qué razón podía tener un dios para conservar órganos inútiles en vez de rehacer cada especie desde cero?

Darwin expuso asimismo que la distribución geográfica de las especies encajaba mejor en su teoría que en la teoría del Dios Creador. ¿Por qué un dios no tenía que poner las especies correspondientes en todas aquellas regiones de la Tierra para las que eran aptas? ¿Por qué no todos los desiertos estaban llenos de camellos? ¿Por qué —por el contrario— comprobaban los naturalistas que casi todas las especies de una región concreta estaban estrechamente relacionadas, tanto que, por ejemplo, en Australia había criaturas semejantes a ratones que estaban más relacionadas con los canguros que con los ratones europeos? La respuesta de Darwin fue, obviamente, que los marsupiales vivían en Australia porque allí habían vivido sus antepasados. Era el lugar donde habían evolucionado.

Había otra consecuencia de la teoría que resultaba particularmente indigesta a los críticos de Darwin: los humanos podían haber estado emparentados con los monos (es una consecuencia que sigue gozando de buena salud; véase el capítulo 6). A

ciertas personas les sigue resultando indigesta incluso en la actualidad; el antropólogo Yves Coppens recuerda que su abuela le dijo: «Tú habrás descendido del mono, pero yo no^[10]». La teoría tuvo que arrostrar muchas otras dificultades en la época de Darwin. Por ejemplo, casi todos los geólogos creían que la Tierra no podía tener más de 100 millones de años. Darwin sabía que la selección natural necesitaba períodos larguísimos para generar la inmensa variedad de criaturas que poblaba la Tierra y adujo que 100 millones de años era poco tiempo. Creía que la evolución actuaba muy despacio. En realidad, estaba convencido de que actuaba tan despacio que nunca podría observarse directamente, por lo que todas las pruebas de la evolución tenían que ser indirectas. Además, los biólogos del siglo XIX no sabían bien cómo funcionaba la herencia. Para que la teoría de Darwin fuera cierta, los mecanismos de la herencia tenían que ser muy exactos (de lo contrario no podía haber ninguna especie estable), pero no demasiado (o no habría cambio). Que las cualidades de los progenitores pasaran a los vástagos era importante, pero también que hubiera ligeras variaciones que fortalecieran o debilitaran la salud de determinados individuos. Sin embargo, como nadie sabía con exactitud cómo funcionaba el mecanismo de la herencia, no era seguro que funcionase del modo que se necesitaba. Lo único que Darwin pudo hacer fue sugerir que las cualidades de los progenitores se «combinaban» del mismo modo que se mezclaban los colores. Pero esto parecía dar a entender que las desviaciones de la norma se eliminaban en cada generación, aunque fueran beneficiosas, y este resultado imposibilitaba la selección natural. La falta de una explicación clara de la herencia mermó la credibilidad de la teoría darwiniana durante más de medio siglo.

Casi todos los obstáculos con que tropezó Darwin se despejaron en el siglo XX. Disminuyó la resistencia religiosa a la teoría de la evolución. Aparecieron más testimonios que la confirmaban y se llenaron sus lagunas. La teoría se ha modificado y mejorado en algunos aspectos decisivos. Las ideas básicas de Darwin son hoy el principio articulador de la moderna historia científica de la vida en la Tierra.

Un motivo por el que tiene hoy tanta aceptación es que en el siglo XX fue posible ver el funcionamiento de la evolución de manera directa. Es muy fácil observarla cuando se estudian especies pequeñas que se reproducen rápidamente, como las moscas de la fruta. También hemos visto la evolución en curso cuando han aparecido nuevas formas de bacterias con el uso de los antibióticos (como veremos con más detalle más abajo).

El registro fósil también es hoy más abundante que en tiempos de Darwin y gracias a los incansables descubrimientos se ha ampliado el horizonte de distintas etapas de la historia evolutiva. Esta historia no demostrará nunca del todo las teorías darwinianas, pero sigue siendo totalmente compatible con ellas. Las técnicas modernas de datación, al hacer retroceder la edad de la Tierra de 100 millones de años a más de 4000 millones, han aportado asimismo un espacio temporal cuarenta veces mayor para que funcionen los procesos de Darwin. Por último, los biólogos del

siglo XX acabaron por saber cómo se produce la herencia y lo que cuentan es compatible con la teoría de Darwin. Gregor Mendel, un contemporáneo de Darwin, había averiguado ya los principios básicos, pero su trabajo quedó en el olvido hasta el siglo XX. Mendel demostró que, aunque los organismos con reproducción sexual heredan rasgos (o *genes*) de ambos progenitores, los heredan en paquetes diferenciados: uno de este progenitor y otro de aquél. Demostró asimismo que, en muchos casos, sólo se manifiesta un rasgo en el descendiente. Si un progenitor tiene los ojos azules y el otro los tiene castaños, eso no significa que el descendiente vaya a tenerlos de color barro azulado; en realidad, heredará un color u otro. Así pues, la herencia no conduce automáticamente a la disolución de los rasgos que Darwin había temido. Puede que determinados genes no se transmitan a todos los descendientes; pero, si se transmiten, se transmiten intactos. También sabemos con exactitud cómo pasan los genes de generación en generación. El ADN, o ácido desoxirribonucleico, transmite información genética de un organismo a su descendiente con una gran precisión, de modo que las especies tienen mucha estabilidad. Pero no es perfecto. Cuando el ADN se copia a sí mismo, comete por término medio un error por cada mil millones de unidades de información genética, lo que equivaldría a una errata tipográfica en un libro de medio millón de páginas. Este margen permite que se produzcan las pequeñas variaciones que se necesitan para que haya evolución^[11]. La descripción de la estructura del ADN por Francis Crick y James Watson en 1953 fue por lo tanto una etapa crucial en la consolidación de la teoría darwiniana como idea fundamental de la biología moderna.

La moderna microbiología ha demostrado además otra corazonada de Darwin: todos los organismos de la Tierra están relacionados entre sí. Todos los organismos vivos, desde las bacterias hasta los mamíferos modernos más grandes, están formados por células que utilizan los mismos procesos químicos básicos y las mismas rutas básicas. Y todas se sirven del mismo código genético. En este sentido, todos los organismos vivos están relacionados entre sí. Esto significa o que la vida apareció en la Tierra sólo una vez o que apareció varias veces pero sólo cuajó un experimento y dio los frutos que vemos en el presente, mientras que los demás linajes desaparecieron con el tiempo. En cualquiera de ambos casos, todos los organismos que están vivos en la actualidad, desde los humanos hasta las amebas, pasando por los plátanos y las ascidias, descienden del mismo antepasado (bacteriano).

La teoría de Darwin se ha modificado en algunos aspectos menores. Por ejemplo, parece que Darwin creía que todos los cambios evolutivos se producían porque aumentaban las posibilidades de supervivencia de los individuos que los experimentaban. Pero hoy se sabe que muchos cambios genéticos se producen por casualidad. Hay elevadas cantidades de material genético (probablemente el 97 por 100 por lo que se refiere al genoma humano, por ejemplo) que no tienen ninguna repercusión en la composición del individuo adulto, de modo que los cambios producidos en esos segmentos no afectan directamente a las posibilidades de

supervivencia del individuo. El principio general es el siguiente: los cambios aleatorios que no repercuten en las posibilidades de supervivencia de los individuos de una especie pueden ocasionar cambios lentos y básicamente aleatorios en la estructura genética (o *genotipo*) de toda la especie. Sin embargo, estos cambios «neutrales» podrían tener influencia en el futuro si, como sucede en ocasiones, se reactivarán algunos de esos genes inactivos.

Parece que Darwin también creía que la evolución se producía a un ritmo uniforme. Hoy sabemos que no siempre es así. En los períodos de estabilidad climática o ambiental, las especies pueden cambiar lentamente. Pero si el entorno o el clima cambian con más rapidez, las especies pueden evolucionar y diversificarse muy aprisa. Es exactamente como han reaccionado las bacterias modernas ante el impacto de los antibióticos. Donde se utilizan los antibióticos con generosidad, las bacterias menos afectadas por el producto adquieren de pronto más capacidad para producir descendencia sana. Al cabo de unas generaciones, los genes de estos individuos tenderán a dominar la especie. Por este motivo han aparecido nuevas especies de bacterias que son relativamente inmunes a la acción de los antibióticos. Hoy se cree que este ritmo es normal en la historia de la evolución. En la historia de la Tierra ha habido períodos de cambio evolutivo muy rápido y períodos de estabilidad biológica relativa. La evolución se mueve por rachas, según la moderna teoría del «equilibrio puntuado», propuesta por Niles Eldridge y Stephen Jay Gould en 1972.

EL PRINCIPIO DE LA VIDA EN LA TIERRA

La moderna teoría darwiniana puede explicar cómo han surgido los organismos actuales a partir de las formas de vida simples de la Tierra primitiva (véase el capítulo siguiente). Pero ¿puede ir más allá y explicar el origen de las primeras formas de vida? ¿Se puede dar una explicación totalmente científica de la aparición de la vida a partir de la materia inorgánica?

Que la vida haya podido aparecer espontáneamente es una idea que se vienen tomando en serio los científicos por lo menos desde los tiempos de la Grecia clásica^[12]. Y por buenas razones. Al fin y al cabo, los gusanos que vemos en los cadáveres de los animales parecen brotar de la nada. En el siglo XVII, y gracias al uso del recién inventado microscopio, se puso de manifiesto que el aire estaba lleno de microorganismos y esto permitió explicar el surgimiento aparentemente espontáneo de organismos como los gusanos, imaginando que sus huevos viajaban por el aire y se depositaban en la carne corrompida. Pero esta explicación no descartaba la posibilidad de que hubiera microorganismos que aparecieran por generación espontánea, por ejemplo a causa de alguna forma de «fuerza vital» presente en el aire.

Gracias a un experimento de notable sencillez, el biólogo Louis Pasteur echó por tierra la suposición de que la vida podía aparecer por generación espontánea. Todas

las formas de vida se basan en moléculas orgánicas, es decir, en moléculas en las que está presente el carbono. Como el carbono puede entrar en combinaciones muy complejas, puede dar lugar a moléculas más complejas y variadas que ningún otro elemento. En el siglo XIX se habían practicado ya multitud de experimentos que demostraban que, si se hervían caldos ricos en material orgánico para eliminar toda forma de vida y luego se depositaban en recipientes herméticamente cerrados, no aparecía ninguna forma vital en ellos. Sin embargo, algunos adujeron que era porque los recipientes impedían la entrada de la fuerza vital omnipresente. Para poner a prueba esta idea, Pasteur ideó un ingenioso experimento en 1862. Hirvió un caldo con material orgánico y luego lo depositó, no en un recipiente cerrado, sino en una retorta sin tapar. Si hubiera existido la fuerza vital, habría penetrado en el recipiente y generado seres nuevos con el material orgánico. Y como las esporas o microorganismos que flotan en el aire no pueden entrar por el cuello de una retorta, el caldo de Pasteur sigue siendo estéril desde entonces y todavía puede admirarse en París. El experimento venía a demostrar por fin que la vida no aparecía por generación espontánea y que no había ninguna fuerza vital flotando en el aire. La vida sólo podía proceder de la vida.

Pero si esto resolvía un misterio, planteaba otro. Si la vida no podía proceder de la materia inorgánica, ¿cómo había brotado en la Tierra primitiva? Los paleontólogos sabían que la vida había aparecido de manera repentina en el período llamado cámbrico, que por lo que sabemos actualmente comenzó hace menos de 600 millones de años. ¿Cómo se explicaba esta repentina explosión de vida? ¿Debían volver los biólogos a la idea de la divinidad creadora? Muchos biólogos del siglo XIX pensaban que sí, porque toda explicación exclusivamente científica del origen de la vida tenía que partir de la base de que la vida podía surgir de la materia inorgánica y Pasteur había demostrado que era imposible. Otra posibilidad era suponer que las moléculas orgánicas eran diferentes de las inorgánicas. Podían ser diferentes por su origen y por su capacidad para generar vida. ¿Había algo especial en el carbono? Esta hipótesis se redujo a cenizas cuando los químicos de mediados del siglo XIX demostraron que en el laboratorio y, a partir de elementos inorgánicos, podían sintetizarse moléculas orgánicas.

Hasta el siglo XX no hubo una teoría convincente sobre el origen de la vida. Expuesta en los años veinte por Alexander Oparin y J. B. S. Haldane, se sirve de las ideas básicas de la teoría de la evolución y explica no sólo la evolución de la vida en la Tierra, sino también su aparición. La idea fundamental es que la evolución opera hasta cierto punto incluso entre compuestos químicos inorgánicos. Algunos compuestos químicos pueden evolucionar si, a semejanza de los cristales, consiguen estabilizarse y reproducirse con una exactitud aceptable. Cuando esto ocurre, los compuestos que produzcan el «descendiente» más estable (es decir, el mejor adaptado al entorno) tenderán a multiplicarse más aprisa que aquellos cuyos descendientes sobrevivan peor. El proceso es parecido al de la evolución darwiniana. Conforme los

compuestos mejoran su adaptación al medio, pueden aumentar asimismo su complejidad, hasta que, con el tiempo, llegamos a concebir que son organismos vivos. Los biólogos llaman *evolución química* a estos procesos.

No obstante, sigue sin saberse con exactitud cómo generó la evolución los primeros organismos vivos. Para comprender este problema tenemos que descomponerlo en varios niveles. Ante todo tenemos que explicar cómo se crearon las materias primas de la vida: es el nivel químico. Luego tenemos que explicar cómo estos materiales orgánicos simples se organizaron en estructuras más complejas. Por último, tenemos que explicar el origen de los mecanismos reproductores codificados en el ADN, que está presente en todos los organismos vivos que conocemos. En la actualidad tenemos respuestas válidas para el primer problema y respuestas convincentes para el segundo, pero el tercero sigue generando gran desconcierto.

El primer paso nos parece hoy asombrosamente sencillo. Los organismos vivos están construidos, básicamente, con compuestos de carbono e hidrógeno. El carbono es fundamental, a causa de su impresionante versatilidad. Añadamos hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre y tendremos el 99 por 100 del peso neto de todos los organismos vivos^[13]. Si hay condiciones idóneas y abundan estos elementos, es fácil construir moléculas orgánicas simples, entre ellas los aminoácidos (los ladrillos de las proteínas, que son los materiales estructurales básicos de todos los organismos) y los nucleótidos (los ladrillos del código genético^[14]). El experimento de Pasteur había demostrado en principio que estas moléculas no se podían generar de manera espontánea. En la actualidad sabemos por qué: la atmósfera de nuestros días, que contiene grandes cantidades de oxígeno libre, es un medio hostil para las moléculas orgánicas simples. El oxígeno es muy reactivo y cuando reacciona genera calor (solemos percatarnos de su capacidad destructiva durante los incendios). El oxígeno es particularmente dañino para moléculas orgánicas como las de la madera o el papel. Siempre que puede, las descompone en agua y anhídrido carbónico mediante combustión lenta.

Sin embargo, Oparin y Haldane señalaron la posibilidad de que en la atmósfera de la Tierra primitiva hubiera poco oxígeno libre. En tal caso es posible que la vida apareciera mucho antes del cámbrico, en una atmósfera sin oxígeno que permitió que las moléculas orgánicas simples vivieran tiempo suficiente para entrar en la lenta interacción que se necesita para que se produzca la evolución química. En 1952, los científicos estadounidenses Harold Urey y su doctorando Stanley Miller pusieron a prueba esta posibilidad en un experimento de laboratorio tan célebre como sencillo. Prepararon un modelo de atmósfera primitiva llenando un gran recipiente cerrado con metano, agua y amoníaco. Calentaron la mezcla y la sometieron a descargas eléctricas que simulaban los rayos que sin lugar a dudas poblaban los cielos de aquellos tiempos. Al cabo de siete días encontraron en el recipiente un barro de color rojo oscuro que contenía algunos de los veinte aminoácidos más importantes. Los aminoácidos son moléculas orgánicas simples (contienen entre veinte y cuarenta

átomos) que se organizan de distintas maneras para formar las proteínas que predominan en la química y la estructura de todos los organismos vivos. Repitiendo el experimento en condiciones y atmósferas artificiales algo distintas, los científicos han conseguido demostrar que los veinte aminoácidos básicos pueden formarse de este modo. Así tenemos las bases de las proteínas, que son los ladrillos elementales de la vida. El experimento de Miller y Urey dio origen también, en cantidades menores, a otras importantes moléculas orgánicas, como los azúcares y los componentes principales de los nucleótidos, que son las moléculas que forman el código genético.

Algunos llegaron a decir que Miller y Urey habían estado cerca de crear organismos vivos. Hoy podemos afirmar que no fue así. Hay muchas etapas complejas entre la producción de moléculas orgánicas simples y la producción de vida. En cualquier caso, es probable que la atmósfera de la Tierra primitiva contuviera menos amoníaco, menos metano y más anhídrido carbónico y nitrógeno de lo que supusieron los dos químicos. Una atmósfera así habría sido menos fértil en moléculas orgánicas simples. A pesar de todo, el experimento de Miller y Urey sigue señalando un hito histórico. Demostró que en la Tierra primitiva pudieron fabricarse con relativa facilidad muchos ladrillos químicos de la vida.

Desde entonces se han venido encontrando aminoácidos, nucleótidos simples e incluso los fosfolípidos que componen las membranas celulares en muchos entornos insólitos, tanto de la Tierra como del espacio. Se han localizado aminoácidos en nubes de polvo del espacio interestelar. Y grandes cantidades de agua y alcoholes, que son imprescindibles para la formación de los fosfolípidos. Sabemos que en los meteoritos y los cometas hay vapor de agua y muchas moléculas orgánicas simples. La presencia de agua en el espacio, y de moléculas orgánicas simples de muchas clases, podría significar que el sistema solar ha recibido un bombardeo continuo de materias primas de la vida durante toda su historia, con impactos violentos o con lluvias de polvo cósmico. Actualmente se cree que en algunos cuerpos celestes de nuestro sistema —Marte, Venus, los satélites de Júpiter, Europa y Calisto, y Titán, el satélite de Saturno— ha habido (y todavía hay en algunos casos) agua en estado líquido, lo que significa que estos cuerpos pudieron haber producido moléculas orgánicas simples, aunque hoy sean medios estériles (como parece ser la situación de Venus y Marte). También cabe la posibilidad de que los planetas, por lo menos durante su infancia, intercambiaran material orgánico merced a los escombros que se desprendían con los impactos aerolíticos y quedaban flotando en el espacio interplanetario. Por ejemplo, en 1996 se afirmó que un meteorito encontrado en la Antártida y que había caído hace 13 000 años contenía gases retenidos que correspondían a la mezcla gaseosa de la enrarecida atmósfera de Marte. Si la afirmación es exacta (y muchos científicos lo dudan), podría significar que el meteorito llegó de Marte. Si descubrimos organismos vivos en Marte, tendremos que tomarnos en serio la posibilidad de que tengan que ver con nosotros^[15]. En resumen,

hay motivos para creer que los elementos químicos que son básicos para la vida abundaban en la infancia del sistema solar.

El segundo paso es más problemático. Consiste en explicar cómo estos compuestos simples, que contienen unas decenas de moléculas a lo sumo, se organizaron en las grandes y complejas estructuras que son imprescindibles para que exista la vida. Incluso en entidades tan microscópicas como los virus llegan a encontrarse hasta 10 000 millones de átomos organizados en modelos muy concretos, mientras que las complejas células de las plantas y los animales contienen entre 1 y 100 billones (es decir, entre 10^{12} y 10^{14}). En la actualidad se sabe poco sobre el momento y el lugar donde se produjo este gigantesco salto en tamaño y complejidad. Sin embargo, fue este cambio el que originó vida auténtica con los compuestos orgánicos. Hoy se barajan tres soluciones posibles a la pregunta por el lugar donde se originó la vida. O se originó en el espacio, o en la superficie de los planetas, o (es la posibilidad más reciente) en el interior de los planetas.

Fred Hoyle y Chandra Wickramasinghe adujeron durante muchos años que la vida llegó a la Tierra desde el exterior. Esta teoría se conoce con el nombre de panespermia. Ahora bien, si los organismos se engendraron primero en otros planetas, entonces nos limitamos a trasladar el problema a otro lugar y seguimos sin saber cómo se engendró la vida allí en vez de aquí. También se ha sugerido que hubo organismos muy simples que se organizaron en el espacio. Sabemos que en el espacio interestelar hay procesos químicos y que algunos organismos simples son lo bastante resistentes para no desintegrarse durante los desplazamientos largos. En la actualidad, sin embargo, se considera poco probable que la vida se originara en el espacio, donde hay escasez de energía y materias primas y donde, en consecuencia, los procesos químicos son muy lentos por lo general. Además, muchas reacciones químicas que son imprescindibles para la vida necesitan agua en estado líquido, y no la hay en el espacio.

Los planetas —donde las condiciones son más complejas, abunda la energía libre, se puede conseguir agua en estado líquido y hay más densidad y abundancia de compuestos químicos— presentan un cuadro más prometedor para la biogénesis. Hasta hace poco, casi todos los biólogos daban por sentado que si la vida había surgido en la Tierra, había tenido que ser en la superficie. Ya en 1871 Darwin había sugerido que la vida podía haber comenzado en «alguna charca caliente, con sales amoniacales y fosfóricas de todas clases, luz, calor, electricidad, etc.»^[16]. Desde entonces, los biólogos se han esforzado por averiguar cómo pudieron los procesos químicos y físicos combinar los elementos para formar organismos simples en los mares o en las costas de la Tierra primitiva.

El agua desempeña un papel fundamental en todas estas teorías. Los aminoácidos y los nucleótidos, una vez formados, pudieron haber estado protegidos hasta cierto punto mientras estuvieron en el agua. Las dos moléculas pueden organizarse en largas cadenas de manera natural, pero este proceso exige condiciones más secas. Es posible

que estas cadenas se formaran en charcos costeros: las moléculas disueltas se habrían secado y disuelto otra vez de manera periódica. En condiciones idóneas, las cadenas de aminoácidos forman proteínas y las cadenas de nucleótidos forman ácidos nucleicos. Al cabo de millones de años, los mares de la Tierra primitiva pudieron haberse llenado de compuestos orgánicos simples que probablemente se organizaron en estructuras más complejas. A. G. Cairns-Smith ha señalado la posibilidad de que, en aguas poco profundas, los diminutos cristales de la arcilla hicieran de molde o plantilla para la formación de moléculas más complejas^[17]. Las fuerzas electrostáticas podrían haber organizado los átomos en formas complejas, dependientes de la misma estructura molecular de la arcilla, hasta que, con el paso del tiempo, se organizaron de otro modo. Cabe incluso la posibilidad de que los cristales de arcilla, enclavados en el interior de las células primitivas, desempeñaran algunos papeles propios del ADN moderno y aportaran plantillas que podían utilizarse hasta el infinito para producir los elementos químicos consumidos en el metabolismo de las células receptoras.

Se originaron como se originaron, las primeras moléculas orgánicas formaban probablemente un flojo «caldo» de proteínas simples, ácidos nucleicos y otras moléculas orgánicas. Estas moléculas tienen una tendencia natural a formar membranas simples o «pieles» de fosfolípidos y a organizarse en glóbulos «semejantes a las gotas de aceite que se echan en la vinagreta^[18]». Algunas de estas moléculas pueden absorber elementos químicos a través de la piel, en un proceso que equivale a comer y que les da la energía que necesitan para expandirse y absorber más elementos químicos. Además, cuando engordan demasiado y se vuelven desgarbadas, estas moléculas se dividen en partes que siguen su propio camino, tal como las gotas de agua que caen en una superficie grasa se dividen a veces en gotas menores. Así pues, es posible que en las costas y en los mares cálidos de hace 4000 millones de años hubiera ya moléculas orgánicas que repetían actividades que consideramos propias de la vida. Se organizaban en glóbulos semejantes a células; «comían» elementos químicos; y podían dividirse en glóbulos independientes como si se reprodujeran.

Aunque estas teorías son convincentes, ninguna explica todos los pasos que van de la no vida a la vida. Y la teoría de la «charca caliente» comporta problemas, por ejemplo la posibilidad de que la atmósfera primitiva no fuera tan favorable a la evolución orgánica como supusieron Miller y Urey, sobre todo si, como sugieren algunos indicios, los primeros organismos vivos aparecieron hace más de 3800 millones de años, cuando la superficie terrestre sufría aún el bombardeo regular de material extraterrestre. Las últimas investigaciones han permitido enfocar el problema desde perspectivas más prometedoras, porque han puesto de manifiesto la existencia de formas bacterianas desconocidas hasta entonces, las arquebacterias que aparecieron muy por debajo de la superficie terrestre^[19]. Al igual que todos los procariotas (la clase más simple de organismos unicelulares), las arquebacterias no

tienen núcleo. Pero a diferencia de casi todos los procariotas, que extraen energía del Sol o de otras células, las arquebacterias «se nutren» de energía química producida en el interior del planeta. Pueden extraerla del hierro, del azufre, del hidrógeno y de elementos más raros que se encuentran enterrados en las rocas o disueltos en el agua del mar. Las arquebacterias pueden vivir con comodidad en las profundidades, incluso sometidas a temperaturas y presiones muy elevadas, de modo que su existencia plantea la posibilidad de que la vida se originase, no en la superficie, sino en el interior de los planetas. En la década de 1990 se encontraron arquebacterias dentro de rocas situadas a más de un kilómetro de profundidad; y se han localizado en ambientes con temperaturas muy por encima del punto de ebullición, en chimeneas volcánicas del fondo marino y en rocas porosas encontradas por debajo del lecho marino. En 2001 se encontraron en una vasta zona del fondo marino que los investigadores llamaron «ciudad perdida»: el calor no procedía allí de la actividad volcánica, sino de las reacciones químicas que se producían cuando el agua del mar entraba en contacto con un mineral verde que recibe el nombre de *olivino*. Estas regiones pueden haber sido frecuentes en las primeras etapas de la historia de la Tierra^[20]. Pero las arquebacterias viven también en la superficie, y en grandes cantidades. Se han investigado, por ejemplo, en las termas del Parque Nacional de Yellowstone, en Wyoming. Por último, los hábitats extremos que ocupan permiten pensar que podría existir vida, o pudo haber existido, en otros planetas y satélites, ya que podría haber hábitats parecidos en otros lugares del sistema solar.

Hay varios motivos para creer que las primeras formas de vida que aparecieron en la Tierra fueron las arquebacterias y no otros organismos. Las arquebacterias viven en medios que han cambiado poco desde la era hídica. Y su capacidad para vivir muy por debajo de la superficie indica que estuvieron menos expuestas a los efectos de los impactos de los meteoritos que caían en la Tierra con tanta frecuencia y que posiblemente barrían la vida de la superficie de manera periódica. Y sin duda estuvieron a salvo de los cambios atmosféricos y de las fuertes dosis de radiación ultravioleta que bombardeó la Tierra antes de que se formara la capa de ozono. Por muy intolerables que nos resulten los tórridos hábitats de las arquebacterias, es posible que fueran los lugares más idóneos para la consolidación de los primeros organismos. En estos ambientes había comida química de sobra para producir el material orgánico como el generado en los experimentos de Miller y Urey. Contenían además, sobre todo en las fumarolas, energía de sobra para poner en marcha multitud de reacciones químicas. Las investigaciones sobre el material genético de las arquebacterias señalan asimismo que han evolucionado con mucha más lentitud que la mayoría de los organismos que han sobrevivido. Y lo más llamativo de todo: que los organismos más antiguos, tanto si son las arquebacterias como las bacterias corrientes, son resistentes al calor. Esto sugiere que al margen de cómo clasifiquemos a los primeros organismos que aparecieron en la Tierra, probablemente fueron organismos termoadictos que surgieron en el fértil ambiente de las fumarolas de las

profundidades oceánicas. Si estas observaciones son ciertas, entonces puede afirmarse que la vida apareció primero en el subsuelo y después se formaron especies nuevas capaces de sobrevivir en medios más fríos, en la superficie o cerca de ella^[21].

El tercer paso, explicar el origen del código genético, es más peliagudo aún que los otros dos. En cierto modo es el problema crucial, porque la clave de todas las formas de vida actuales parece que es la división del trabajo que se advierte entre los nucleótidos, que almacenan e interpretan las instrucciones para fabricar un organismo (el *genoma*), y las proteínas, que aprovechan esas instrucciones para construir organismos concretos. En otras palabras, los nucleótidos se encargan de la reproducción y las proteínas del metabolismo. Esta diferenciación se parece muchísimo a la que hacemos cuando hablamos de *hardware* y *software* en informática. Así pues, ¿qué apareció primero, el metabolismo (la actividad química) o la reproducción (el código genético)? ¿Y si aparecieron juntos^[22]?

La teoría de Oparin venía a decir que primero apareció el metabolismo y después los mecanismos para la reproducción exacta. La idea es convincente al nivel del sentido común, ya que supone que el *hardware* puede existir sin el *software* pero no al revés. Según la teoría de Oparin, los primeros organismos eran bolsas de elementos químicos que podían reproducirse a trancas y barrancas, e incluso «evolucionar». Y es posible que evolucionaran por medios muy complejos. A muchas personas les cuesta entender que los procesos aleatorios de esta clase puedan producir complejidad. Sin embargo, los procesos evolutivos, incluso los rudimentarios, en realidad no son totalmente aleatorios. Contabilizando todos los experimentos químicos que se realizaron al azar en la Tierra primitiva, no puede negarse que los efectos de unos fueron más estables que los de otros. Así pues, el proceso de organizar moléculas primigenias no empezaba de cero cada vez. Al contrario: cada vez que se generaba una molécula relativamente estable había muchas probabilidades de que sobreviviera y fuese a su vez la base de experimentos posteriores. Como ha dicho Cesare Emiliani, las probabilidades de que un mono, tecleando aleatoriamente durante millones de años, acabe escribiendo la Biblia son casi inexistentes. Pero si se introduce una pauta diciendo que cada vez que acierte una tecla queda inscrito el acierto, entonces las probabilidades varían de manera radical y no sería descabellado esperar que el mono concluyera una Biblia en una década^[23]. Dicho de otro modo, podemos afirmar que los compuestos orgánicos de la Tierra primitiva estaban ya sometidos a las leyes de la evolución. Casi todos los compuestos se desintegraban, pero los mejor adaptados al medio probablemente conseguían «inscribirse». Los pocos que vivieron el tiempo suficiente tuvieron descendencia y estos descendientes fueron todas las generaciones posteriores. Con rigor y sin piedad, el medio «seleccionó» los compuestos más aptos para vivir y reproducirse.

Hay muchos motivos para suponer que una evolución química de esta clase sea un poderoso mecanismo de cambio. Por ejemplo, algunos científicos piensan que hay mecanismos ocultos que estimulan la organización donde en apariencia sólo hay

azar^[24]. En ciertas reacciones químicas, un elemento concreto puede catalizar, o estimular, su propia producción, y es un proceso que se denomina *autocatálisis*. Si se concentra una cantidad suficiente de elementos de esta clase es probable que al final se produzca una reacción desbocada, parecida a la obtención de la masa crítica de uranio en una bomba atómica. Cuando se llega a la masa crítica, las reacciones en cadena de los elementos pueden formar estructuras muy complejas en un abrir y cerrar de ojos. Si esta lógica (básicamente matemática) es cierta, entonces viene a decirnos que la producción de los grandes y complejos compuestos químicos que fueron las primeras formas de vida podría ser una tendencia natural de la química orgánica. Si esto es verdad, entonces es casi seguro que acabará habiendo vida en cualquier punto del universo donde las condiciones permitan la formación e interacción de grandes cantidades de compuestos orgánicos.

Pero todas las formas de evolución necesitan mecanismos de reproducción relativamente exactos; si no, incluso los rasgos más marcados desaparecerán con el tiempo. Así pues, incluso las teorías que ponen el metabolismo en primer lugar tienen que explicar qué mecanismos reproductores existían en los tiempos primitivos. Y no es empresa fácil. El ADN, la clave del código genético de todos los organismos vivos actuales (exceptuando un puñado de virus), es una molécula fabulosamente compleja que contiene miles de millones de átomos. Estirada, una sola molécula de ADN humano mide cerca de dos metros. Los átomos del ADN están organizados en estructuras exactas que, a semejanza de un programa de *software*, contienen toda la información necesaria para producir un organismo vivo. Cada célula de nuestro cuerpo contiene la serie completa de instrucciones, aunque usa sólo una mínima parte de su manual de operaciones del ADN. Las instrucciones se seleccionan y aplican según el medio concreto en que se encuentra. Así, las células cerebrales utilizan unas partes del código y las células óseas utilizan otras.

La molécula del ADN consta de dos largas cadenas de nucleótidos que están unidas por travesaños, como una escalera de mano. Sólo que la escalera de mano aparece retorcida helicoidalmente sobre su eje longitudinal, como una escalera de caracol. En cada sección de la escalera hay uno de los cuatro grupos atómicos simples que se conocen con el nombre de *bases*. Una base sólo puede estar en contacto con una de las otras cuatro, de modo que cada travesaño de la escalera consta de dos bases ligadas según un orden riguroso. La adenina (A) sólo puede estar en contacto con la timina (T) y la citosina (C) con la guanina (G). El orden en que aparecen estas bases en cada lado es el código de la fabricación de las proteínas que componen los organismos. Cada grupo de tres bases es la clave de un aminoácido concreto. Hay moléculas especiales que periódicamente abren una parte de la espiral del ADN y leen el orden de las bases en grupos de tres. En los demás puntos de la célula, estos aminoácidos se organizan en cadenas para construir los millares de proteínas que producen reacciones químicas y forman estructuras interiores. El ADN, además, puede reproducirse. Primero, toda la escalera de caracol se parte por el eje

longitudinal, como una cremallera que se abre, cuando se separan las dos bases que forman cada travesaño. Luego, cada base atrae a un homólogo del medio en que se encuentra, y A se une con T y C con G, hasta que cada mitad de la escalera reconstruye la mitad que le falta. De este modo, una sola molécula de ADN puede dar lugar a dos moléculas más o menos idénticas a la original.

Explicar cómo se construyó este complejo, intrincado y elegante mecanismo es una de las tareas más difíciles que tiene ante sí la biología moderna. Un problema es que, por sí solo, el ADN parece incapaz de nada. Al igual que todo *software*, es inútil sin el *hardware*. Cuesta imaginar cómo habría podido evolucionar de manera independiente. Pero la idea de que el metabolismo (el «*hardware*») apareció antes entraña asimismo algunas dificultades; en concreto, no está claro que los procesos evolutivos improvisados puedan generar una complejidad de alto nivel. Si las células se reproducen sin la debida precisión, el mecanismo descrito por Emiliany no funciona bien. Aun en el caso de que aparezca un organismo complejo, es probable que su diagrama se desarticule en la descendencia. Muchos investigadores que han trabajado estos temas afirman por este motivo que la vida no puede conquistar nuevos niveles de complejidad si no hay precisión en la capacidad reproductora. Lo cual nos remite otra vez, a pesar de las dificultades que entraña, a la idea de que el código genético pudo ser anterior al metabolismo complejo.

Estas teorías recibieron un espaldarazo en los años sesenta, cuando se descubrió que el ARN, primo hermano del ADN, es menos impotente que éste. El ARN es *software* y, al igual que el ADN, puede codificar información. Pero consta sólo de un filamento, lo que significa que puede doblarse como una proteína y dedicarse a actividades metabólicas. En otras palabras, puede representar los dos papeles de la vida; puede reproducirse y dar la serie de instrucciones para la reproducción. Puede ser *hardware* y *software*. Es posible que las primeras moléculas que se reprodujeron con precisión suficiente para transmitir alguna forma de «herencia» fuesen de ARN. La base del genoma de algunos virus utiliza todavía ARN en vez de ADN.

El hallazgo de que el ARN puede funcionar como *hardware* y como *software* dio origen a ciertas teorías que postulaban que la forma de vida más antigua fue el ARN. Según estas teorías, relacionadas con el trabajo de Manfred Eigen y Leslie Orgel, lo primero que apareció fue el código genético, antes que el metabolismo complejo, antes incluso que las células^[25]. Por desgracia, el ARN se reproduce con menos exactitud que el ADN y esta imprecisión plantea problemas serios. Un buen sistema reproductor que no es lo bastante bueno podría engendrar el peor de los mundos posibles, porque podría ser tan defectuoso como para acumular errores y tan bueno como para transmitirlos fielmente a los descendientes. Se ha demostrado que un sistema así conduciría al descalabro más aprisa que las formas de reproducción más imperfectas que puedan necesitar los modelos que dan prioridad al metabolismo. (Sintiéndolo mucho, Manfred Eigen, el paladín del ARN, ha calificado este problema de «catástrofe de los errores»)^[26].

Freeman Dyson ha sugerido que es posible combinar las dos teorías^[27]. Quizá el metabolismo apareciera antes y durante millones de años el mundo estuviera poblado por células que no tenían un mecanismo reproductor exacto y que, a pesar de sus limitaciones, se las ingenieras para propiciar procesos metabólicos que todavía tienen lugar en las células actuales. Uno de estos procesos, presente en todos los organismos vivos de nuestros días, consiste en el almacenamiento de energía en el interior de una molécula llamada ATP (trifosfato de adenosina). Y da la casualidad de que esta molécula está estrechamente relacionada con otra que es un componente crucial del ARN. Así pues, es posible que el ARN apareciese en el interior de células parecidas, un medio menos hostil para su evolución que el mundo exterior. Con el tiempo, y comportándose como una especie de parásito, es posible que el ARN se apropiara de los mecanismos reproductores de la célula, hasta que, en una forma primitiva de simbiosis, la célula y el ARN parasitario llegaron a un acuerdo por el que la célula se concentraba en el metabolismo y el ARN en la reproducción. Contando ya con mecanismos de reproducción más seguros (y si conseguía eludirse la «catástrofe de los errores»), es posible que el ARN de estas células, con el paso del tiempo, se transformara en ADN, que está estrechamente emparentado con el ARN.

Aunque también es posible que la vida, tal como la conocemos, surgiera de la simbiosis entre dos organismos diferentes, uno hábil en metabolismo y el otro en codificación. Todavía existe una división del trabajo parecida entre las bacterias y las muchas y diferentes entidades viroides que flotan entre ellas (véase el capítulo 5). Las bacterias utilizan a menudo para sus fines fragmentos de *software*, semejantes a virus, que flotan libremente, mientras que entidades como los virus aprovechan para reproducirse la capacidad metabólica de las bacterias y otros organismos. Podemos imaginar un mundo joven en el que los metabolizadores utilizaban órganos viroides para estabilizar sus mecanismos reproductores y en el que los organismos como los virus utilizaban a las bacterias para que cumplieran sus funciones metabólicas, hasta que al final los dos se fundieron y formaron un solo organismo.

No hay por qué sorprenderse si ninguna de estas teorías convence del todo. Aún no tenemos una teoría completa sobre el origen de la vida. Todavía nos movemos en terreno inseguro cuando queremos explicar el origen del código genético, que es clave en la aparición de los organismos realmente complejos. Sin embargo, ha habido progresos en las últimas décadas y las investigaciones en curso mantienen viva la esperanza de que en otros diez o veinte años contaremos con una versión más satisfactoria.

RESUMEN

La teoría de la evolución de Darwin, en la versión modificada del siglo xx, es la idea organizativa fundamental de las modernas ciencias de la vida. Darwin adujo que

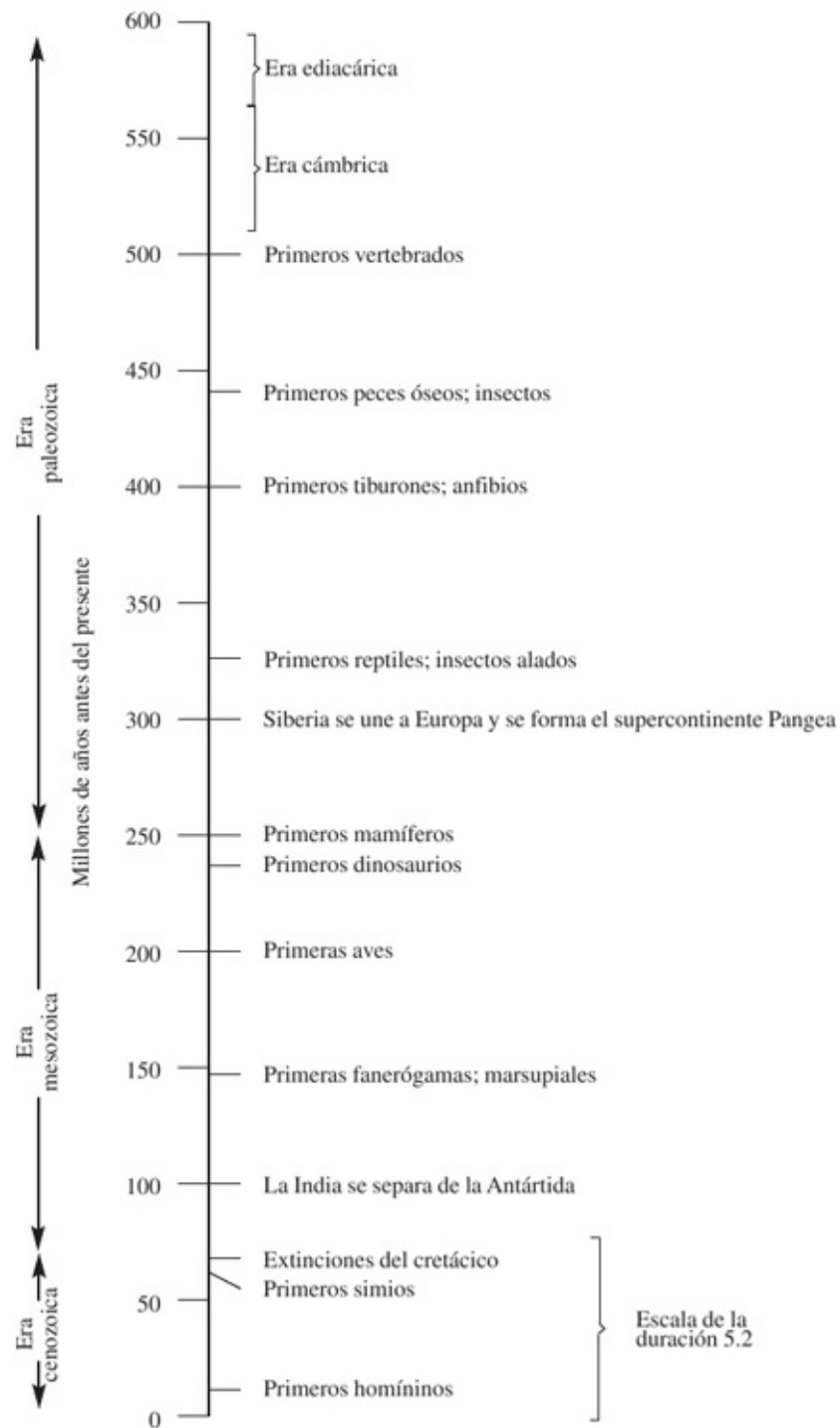
las ligeras variaciones aleatorias dentro de las especies explican por qué unos individuos tienen más probabilidades de reproducirse que otros. Los individuos un poco mejor adaptados al medio tienen más probabilidades de llegar a la vida adulta y engendrar descendientes sanos, de modo que tienen más probabilidades de transmitir sus genes a las generaciones posteriores. De este modo, en virtud de lo que Darwin llamó «selección natural», las especies cambian lentamente y con el tiempo llegan a aparecer especies nuevas.

Cabe la posibilidad de que estos procesos moldearan también los compuestos orgánicos que flotaban en el espacio, o estaban en la superficie de la Tierra, o en el subsuelo, durante la infancia del planeta. Las formas más estables y resistentes perduraban y aparecían compuestos orgánicos aún más estables y complejos que se multiplicaron con el paso de millones y millones de generaciones, en virtud de una forma química de selección natural. Así se formaron los primeros organismos vivos cuando la Tierra no tenía aún mil millones de años. Estos organismos fueron los antepasados de todas las formas de vida actuales.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Darwin es de los pocos fundadores del pensamiento científico moderno cuyos libros vale la pena leer. *El origen de las especies* (1859) todavía se lee con provecho; Steve Jones nos ha dado una versión actualizada en *Almost Like a Whale* (2000). *Our Cosmic Origins* (1998) de Armand Delsemme trae una introducción rápida, al igual que muchos otros buenos manuales de biología y evolución. En los últimos años ha habido un aluvión de libros de biología para el público profano en general. Los de Stephen Jay Gould sobre evolución siempre resultan útiles, aunque el autor no coincida con las ideas más aceptadas. *La peligrosa idea de Darwin* (1995) de Daniel Dennett es un clásico moderno, mientras que *Una larga controversia* (1991) de Ernst Mayr y *Teoría de la evolución* (1975³) de John Maynard Smith nos cuentan una historia que ha quedado algo anticuada. Hay algunos libros interesantes sobre los esfuerzos actuales por explicar el origen de la vida. *El quinto milagro* (1999) de Paul Davies es uno de los más recientes y más accesibles. ¿Qué es la vida? de Erwin Schrödinger (1944) sigue siendo de lectura amena y Freeman Dyson lo ha actualizado en *Los orígenes de la vida* (1999²). *Siete pistas sobre el origen de la vida* (1985) de A. G. Cairns-Smith y *Orígenes* (1986) de Robert Shapiro son repasos interesantes y accesibles. Los escritos de Lynn Margulis y Dorion Sagan constituyen una amenísima introducción a un concepto de la vida que subraya el papel de las bacterias (el «microcosmos»: véase sobre todo su *Microcosmos*, de 1987). En *Cosmic Evolution* (2001), *The Life Era* (1987) y *Universe* (1988) de Eric Chaisson, en *At Home in the Universe* (1995) de Stuart Kauffman y en *Complejidad* (1993) y

Evolución humana (1999⁴) de Roger Lewin se analizan las ideas sobre la complejidad y su papel en los estudios actuales sobre la vida.



DURACIÓN 5.1. Escala de los organismos policelulares: 600 millones de años.

Capítulo 5

LA APARICIÓN DE LA VIDA Y LA BIOSFERA

DIVERSIDAD Y COMPLEJIDAD

Una vez que apareció la vida en la Tierra, la selección natural se encargó de que los organismos vivos se multiplicaran y diversificaran, siempre que encontrasen nuevos nichos que ocupar en un mundo en transformación. El presente capítulo describirá los principales cambios acaecidos en la historia de la vida en la Tierra. ¿Cómo creó la evolución la variedad de organismos que vemos actualmente? ¿Cuáles son las principales etapas de la historia de la vida en la Tierra? Aunque la versión disponible tenga muchos detalles oscuros, las líneas generales están hoy bastante claras.

Después de unos 4000 millones de años de evolución casi todos los organismos vivos siguen siendo simples y pequeños. Las bacterias son mayoría, como siempre, y pocas alcanzan un diámetro mayor de una centésima de milímetro. A diferencia de las estrellas (cuya complejidad no aumenta necesariamente con el tamaño), los organismos vivos tienden a ser más complejos cuanto más grandes son. Así pues, el predominio de las bacterias obedece la regla general que dice que las entidades más simples son más fáciles de producir y de mantener que las entidades complejas, además de ser más duraderas y más numerosas. La inmensa mayoría de los organismos vivos pertenece a lo que Lynn Margulis y Dorion Sagan han llamado «microcosmos^[1]». Por este motivo ha dicho Stephen Jay Gould que, aunque la aparición de la vida señala la aparición de nuevas formas de complejidad, la historia de la vida en la Tierra no es una simple crónica de entidades que se vuelven complejas. Las recetas genéticas más sencillas siguen funcionando perfectamente, de modo que en la complejidad no hay ninguna virtud evolutiva particular^[2]. Si a ello vamos, ha habido organismos que han evolucionado hacia una mayor simplicidad: las serpientes han perdido las patas, los topos los ojos y los virus incluso la capacidad de reproducirse por su cuenta.

Pero también es verdad que la selección natural ha experimentado sin cesar con formas nuevas de vida y en este experimento de 4000 millones de años de duración ha dado origen a organismos más complejos que los que vivían en la Tierra primitiva. Han aparecido aunque no parezca haber ningún impulso activo hacia el aumento de la complejidad y aunque los organismos complejos quizás no sean tan importantes en el esquema general de las cosas. Como han dicho John Maynard Smith y Eörs Szathmáry: «La teoría de la evolución por selección natural no predice que los organismos hayan de ser más complejos. [...] A pesar de lo cual, algunos linajes se han vuelto más complejos^[3]». Con el tiempo apareció un mundo de organismos «macrocósmicos» dentro y al lado del mundo microcósmico; como somos

organismos grandes, tendemos a prestar atención a este proceso, del mismo modo que nuestra historia del universo se ha concentrado en un planeta oscuro que da vueltas alrededor de una estrella oscura por la sencilla razón de que vivimos en ese planeta.

La historia de la creciente complejidad biológica se puede contar como una serie de grandes transiciones, que son: el origen de la vida propiamente dicha, la aparición de células eucariotas, la reproducción sexual, la producción de organismos policelulares como nosotros y la aparición de organismos que se organizan en grupos sociales^[4]. En cada etapa, las moléculas, las células y los individuos han estado en estrecha conexión dentro de estructuras mayores —como la actividad del ramo durante las fusiones de empresas— y la evolución ha tenido que encontrar nuevas formas de comunicación y cooperación entre ellos. Explicar cómo ha surgido la complejidad por selección natural equivale a explicar por qué ha sido ocasionalmente beneficioso (en sentido darwiniano) para las moléculas reproductoras el cooperar dentro de entidades de tamaño creciente, hasta llegar a organismos tan sobresalientes como nosotros, que somos estructuras gigantescas, compuestas por miles de millones de células que cooperan estrechamente.

A pesar de nuestro tamaño (somos a un organismo unicelular lo que el Empire State Building a un ser humano), no deberíamos exagerar nuestra complejidad. Una forma conocida de medir la complejidad creciente es calcular la cantidad de genes que se necesitan para construir organismos diferentes. Ahora bien, este cálculo no nos deja en tan buen lugar como podría esperarse. Los humanos no poseemos esa cantidad intermedia de genes, entre 60 000 y 80 000, que antaño se creía imprescindible para fabricarnos, sino más bien la mitad, alrededor de 30 000. Las lombrices intestinales tienen alrededor de 19 000, dos tercios de nuestro genoma, y las moscas de la fruta casi la mitad, unos 13 000; y *Escherichia coli*, una bacteria de nuestro intestino, podría tener 4000 genes. Así pues, aunque construir organismos grandes cuesta más que construir organismos pequeños, la diferencia no es tan grande como se creía. Entre nuestros parientes biológicos están los chimpancés, pero también las amebas y las lombrices intestinales.

LA ERA ARCAICA: LA EDAD DE LAS BACTERIAS

Los testimonios más importantes para reconstruir la historia de la vida en la Tierra proceden del registro fósil, que nos revela muchas cosas sobre los últimos 700 millones de años. Pero esto es menos de la quinta parte del tiempo transcurrido desde la aparición de la vida en el planeta. El registro fósil no nos dice nada de épocas anteriores —durante las que los organismos vivos eran células simples que vivían en el mar— porque estos organismos primitivos carecían de partes duras capaces de fosilizarse. No obstante, los paleontólogos han averiguado la forma de localizar y analizar los diminutos «microfósiles» de las bacterias y dicen que los más antiguos

tienen 3500 millones de años, es decir, que son casi contemporáneos de los primeros indicios de vida que aparecieron. En los últimos años, los biólogos han recurrido de manera progresiva al análisis y la comparación del material genético de las especies modernas. Su trabajo puede poner de manifiesto la existencia de vínculos evolutivos entre especies actuales, imposibles de detectar con estudios basados únicamente en el registro fósil.

En las cronologías planetarias convencionales, la era hídica es la de la formación de la Tierra y dura hasta hace unos 4000 millones de años; la era arcaica es la que abarca el primer período de vida en la Tierra y se extiende desde 4000 millones de años antes del presente hasta 2000-2500 millones de años antes del presente. Las primeras formas de vida aparecieron al comienzo de dicha era y ocurrió en contacto con el agua. Puede que los primeros organismos fueran arquebacterias y que se formaran en las tórridas chimeneas volcánicas del fondo o del subsuelo marino. También es posible que fueran otras modalidades de bacterias, si hemos de dar crédito a las recientes investigaciones que sugieren que tanto las arquebacterias como los organismos eucariotas descendían de organismos anteriores y más sencillos, las llamadas eubacterias^[5].

Fuera como fuese, la vida apareció pronto. Probablemente había ya organismos vivos hace 3800 millones de años, porque en rocas de Groenlandia de esa antigüedad se han encontrado restos del isótopo C¹², que normalmente se asocia con la presencia de vida. La vida existía ya sin lugar a dudas hace 3500 millones de años, que es la antigüedad de ciertas rocas del sur de África y Australia occidental que al parecer contienen microfósiles de bacterias parecidas a las actuales cianobacterias (es decir, las algas verdiazules^[6]). Eran parecidas a los organismos actuales que vuelven verde el agua estancada. Su presencia da a entender que los mares de la Tierra primitiva ya estaban llenos de vida. La rapidez con que apareció vida en el planeta ha inducido a muchos biólogos a creer que, dadas las condiciones idóneas en cualquier lugar del universo, la vida podría aparecer con rapidez y naturalidad. Así pues, la vida, lejos de ser un fenómeno atípico, podría ser normal en todo el universo. Como ha dicho recientemente Paul Davies, el universo, por lo menos en su fase evolutiva actual, parece ser un lugar «biofavorable^[7]».

Pero esta disposición «favorable» tiene sus límites. Toda estructura compleja necesita para sobrevivir un flujo de energía constante. Empresa prioritaria de todo organismo es encontrar fuentes de nutrientes y energía, y no siempre es empresa fácil. Las soluciones que hallaron los primeros organismos tuvieron una gran repercusión en la historia de la vida en la Tierra e incluso moldearon el planeta.

Es posible que los primeros organismos extrajeran la energía de los productos químicos del subsuelo, que «comieran» elementos químicos. Si se trataba de arquebacterias, probablemente extraían la energía de las fumarolas del fondo de los mares. Pero muy pronto hubo organismos que aprendieron a conseguir energía comiéndose a otros organismos. De este modo se estableció una clara diferencia entre

productores primarios, que extraen la energía del medio inorgánico, y organismos situados en la parte superior de la cadena alimentaria, que se alimentan de otros organismos vivos, incluyendo a los productores primarios. Si ésta hubiera sido la única forma de extraer energía, la historia de la vida en la Tierra habría estado limitada por la energía procedente del líquido núcleo del planeta, que estaba a disposición de los organismos que vivían en el fondo del mar. Pero hace por lo menos 3500 millones de años había organismos que vivían cerca de la superficie y allí aprendieron a alimentarse de luz solar. Y el Sol es una fuente de energía más rica que el horno del centro de la Tierra. Las células de las cianobacterias contenían moléculas de clorofila y éstas les permitían procesar la luz en esa reacción química tan decisiva que se llama *fotosíntesis*.

La fotosíntesis es tan importante para la vida en la Tierra que vale la pena esforzarse para entender cómo funciona^[8]. Las moléculas son átomos unidos por enlaces químicos. Para formar los enlaces químicos se necesita energía y se puede liberar parte de esa energía destruyendo los enlaces. Así pues, los compuestos químicos pueden concebirse como depósitos de energía. Los organismos vivos acceden a la energía almacenada en moléculas orgánicas, como la glucosa, destruyendo sus enlaces químicos. Como romper los enlaces también requiere energía, el truco está en encontrar la forma de liberar más energía de la empleada para romper el enlace. Y esto es lo que hacen las *enzimas*. Las enzimas son moléculas (sobre todo proteínas) cuya forma les permite desestabilizar moléculas energéticas concretas con muy poco esfuerzo. Al hacerlo, liberan mucha más energía de la que invierten. El principio de utilizar una pequeña cantidad de energía para obtener una cantidad mayor es de lo más cotidiano: lo ponemos en práctica cada vez que encendemos una hoguera con una cerilla. Sin embargo, todo este proceso exige una inversión inicial de energía para formar los enlaces químicos que hacen de depósitos. Y aquí es donde interviene la fotosíntesis. En esta reacción, la clorofila (en presencia de agua y anhídrido carbónico) aprovecha la energía de la luz para crear una pequeña corriente eléctrica. Esta corriente pone en marcha una compleja cadena de reacciones que forman moléculas de sustancias como la glucosa, que pueden almacenar energía. Así es como las plantas utilizan la luz solar: fabrican en su interior pequeños paquetes de energía y los abren cuando hace falta. Como es lógico, otros organismos pueden aprovechar también la energía almacenada comiéndose las plantas. Cuando nos comemos una manzana, forzamos sus cerraduras y nos llevamos la energía almacenada por el manzano. Cuando quemamos carbón, liberamos energía almacenada por los árboles del período carbonífero, que concluyó hace 300 millones de años. De este modo se pueden almacenar en paquetes muy pequeños cantidades muy grandes de energía derivada de la luz solar. Es fácil olvidar que una taza de gasolina, que contiene energía almacenada por organismos de hace muchos millones de años, es capaz de impulsar a un camión cuesta arriba. También olvidamos con

facilidad que sin el continuo aporte energético de la luz solar, toda la biosfera se quedaría sin energía.

Gracias a las complejas reacciones químicas de la fotosíntesis, los organismos vivos empezaron a almacenar los abundantes frutos de la luz. Alimentada por ésta, la vida podía florecer ya hasta un extremo inimaginable en un mundo sin sol. Buena parte del resto de la historia de la vida en la Tierra está determinada por las diferentes formas de captar, distribuirse y repartirse la luz las especies que han poblado el planeta. La historia humana es parte de esta saga, porque los humanos han ideado medios de aprovechar la luz, medios de capacidad creciente, como la actividad recolectora, la agricultura y la explotación de los combustibles fósiles.

Las cianobacterias son los antepasados remotos de las plantas actuales y están entre los más importantes productores primarios del mundo moderno. Muchas cianobacterias secretan un barro pegajoso que les permite apelotonarse como un estropajo. Con el tiempo se transforman en unos objetos grandes y fungiformes que se llaman *estromatolitos* y constan de una delgada capa de bacterias vivas encima de una creciente capa de antepasados congelados. Los estromatolitos se forman todavía en unos cuantos medios actuales (uno de los más célebres es la bahía de Shark, en Australia occidental), pero los estromatolitos fósiles son frecuentes desde hace al menos 3000 millones de años. Son un residuo que nos dice que muchas formas de vida primitivas se adaptaron tan bien que todavía viven tras haber sufrido muy pocos cambios.

No caigamos, pues, en la tentación de creer que el mundo arcaico era aburrido en comparación con el nuestro. Cuando se conoce bien, resulta que era tan variado y pintoresco como el que nos ha tocado a nosotros. Margulis y Sagan lo describen de un modo espectacular:

Reducido a proporciones microscópicas, se vería un fabuloso paisaje de palpitantes esferas moradas, rojas, amarillas y verdemar. En el interior de las esferas violeta de la Thiocapsa, flotantes glóbulos de azufre amarillo emitirían burbujas de gas fétido. Habría colonias de viscosos organismos con vaina extendiéndose hasta el horizonte. Algunas bacterias, con un extremo pegado a las rocas, introducirían el otro por pequeñas grietas y se colarían poco a poco en el interior. Filamentos largos y delgados abandonarían el redil de sus hermanos y se alejarían reptando lentamente, en busca de un sitio más soleado. Culebreantes tentáculos bacterianos con forma de sacacorchos o tornillos pasarían a toda velocidad. Filamentos policelulares y batallones pegajosos de células bacterianas, tupidos como una tela, ondularían a merced de las corrientes y alfombrarían los guijarros con brillantes matices del rojo, el rosa, el amarillo y el verde. Arrastradas por las brisas, las esporas lloverían y se estrellarían contra la firme frontera de los posos de lodo y las aguas^[9].

En el microcosmos, la información genética flota en forma de unidades y fragmentos de ADN o ARN que reciben diversos nombres: *replicones*, *plásmidos*, *fagos*, *virus*... Estos objetos están exactamente en la línea fronteriza entre la vida y la no vida, ya que casi todos son poco más que información genética en busca de un cuerpo en el que hacer su trabajo. Las bacterias pueden aprovechar estos fragmentos de información genética en cualquier etapa de su existencia y no sólo en la reproducción. Lo hacen para complementar el limitado abanico de facultades

metabólicas que hay en su pequeña genoteca^[10]. Los replicones podrían no incorporarse nunca al almacén genético permanente de las bacterias, pero, al igual que un programa informático prestado, pueden ser útiles a sus anfitriones antes de irse a otra parte. Así pues, las bacterias pueden compartir la información genética con una flexibilidad que está ausente en los organismos mayores, un rasgo que quizá explique su asombrosa variedad y su capacidad de adaptación. A pesar de su reducida genoteca, los individuos pueden acceder a un banco de datos general con una libertad que no tienen los organismos superiores como nosotros (o que no tenían antes de la era de la ingeniería genética). Como han dicho Margulis y Sagan: «Para tener el tamaño macrocósmico, la energía y el cuerpo complejo que tenemos, hemos cedido flexibilidad genética^[11]». Más abajo veremos que el lenguaje simbólico podría haber devuelto, al menos a nuestra especie, parte de la flexibilidad adaptativa que tienen las bacterias, con su capacidad para intercambiar libremente material genético, y que nos permite intercambiar información en vez de genes.

En muchos aspectos, las bacterias siguen siendo la forma de vida predominante en la Tierra actual. Con el tiempo, sin embargo, algunos organismos unicelulares se agruparon para organizarse en estructuras más ordenadas. Estas estructuras representan los primeros pasos hacia los organismos policelulares como nosotros. La policelularidad comenzó en la era proterozoica.

LA ERA PROTEROZOICA: NUEVAS FORMAS DE COMPLEJIDAD

Las formas primitivas de fotosíntesis, para almacenar la energía de la luz, liberaban el hidrógeno del ácido sulfídrico. Con el tiempo, sin embargo, algunas cianobacterias aprendieron a liberar hidrógeno de los enlaces de las moléculas del agua, que son mucho más resistentes; era una forma de fotosíntesis más eficaz, que, de manera secundaria, liberaba también oxígeno. Esta nueva y más potente tecnología metabólica acabó transformando la atmósfera primitiva al liberar, después de millones y millones de años, gigantescas cantidades de oxígeno, un gas mortal para casi todas las formas de vida primitivas.

Al principio, el oxígeno libre se reabsorbía rápidamente con reacciones químicas como la oxidación, que lo ligaba al hierro. (La presencia de anchas franjas de óxido en los comienzos de la era proterozoica es uno de los indicios que nos permiten hablar de aumento del oxígeno libre). Sin embargo, desde hace unos 2500 millones de años empezó a producirse demasiado aprisa para reabsorberse como se ha dicho y comenzó a concentrarse en la atmósfera. Se cree que hace 2000 millones de años el oxígeno representaba ya el 3 por 100 de los gases de la atmósfera; el nivel ha subido aproximadamente al 21 por 100 en los últimos mil millones de años^[12]. Si hubiera más oxígeno, arderíamos en cuanto nos frotáramos las manos.

La aparición de una atmósfera rica en oxígeno es una de las mayores revoluciones en la historia de la vida en la Tierra. Margulis y Sagan describen el cambio llamándolo «el holocausto del oxígeno^[13]». Como el oxígeno es muy reactivo, su presencia mantiene la atmósfera en un continuo estado de desequilibrio y crea un nuevo nivel de tensión química que podría potenciar profundas transformaciones evolutivas. Alimentada indirectamente por el Sol, se trataba de una nueva forma de energía libre que podía emplearse para construir formas de vida más complejas. Como ha dicho James Lovelock: «[El oxígeno libre] proporciona un potencial químico con una diferencia lo bastante amplia para que los pájaros vuelen y nosotros corramos y nos mantengamos calientes en invierno; y tal vez también para que pensemos. El nivel actual de tensión de oxígeno es para la biosfera actual lo que el consumo de electricidad de alto voltaje para el estilo de vida del siglo xx. Se puede prescindir de ella, pero las potencialidades se reducen muchísimo^[14]».

Las formas de vida predominantes hasta hace menos de 2000 millones de años fueron organismos simples, unicelulares, que vivían en el mar. Los biólogos los llaman *procariotas*. El ADN de los procariotas flota libremente dentro de la célula. En la reproducción, la célula se divide y cada mitad recibe una copia exacta del ADN de la célula progenitora. Los descendientes de los organismos procariotas suelen ser clones de los progenitores. Sin embargo, como hemos visto, pueden intercambiar información genética en sentido «horizontal», con los vecinos, y en sentido «vertical», con los progenitores y los descendientes, una capacidad que permite la aparición de formas evolutivas vedadas a organismos más complejos^[15]. Esto explica en parte por qué los procariotas consiguieron descubrir y explotar muchos procesos químicos básicos de los que depende la vida incluso en la actualidad. Ellos alteraron la superficie de la Tierra y también su atmósfera. En palabras de Margulis y Sagan: «La Edad de las Bacterias transformó la Tierra, un lugar con cráteres lunares y de rocas vítreas volcánicas que acabó siendo el planeta fértil que nos engendró^[16]».

Sin embargo, hubo límites para la complejidad y el tamaño de los organismos vivos hasta que éstos tuvieron acceso a las poderosas baterías de la atmósfera oxigenada. El oxígeno libre es muy dañino para los materiales orgánicos simples, motivo por el cual no habría podido aparecer la vida en una atmósfera abundante en oxígeno. Pero después de 2000 millones de años de evolución, la vida era lo bastante resistente y versátil para afrontar el nuevo agente contaminante. Sin duda perecieron muchas especies, pero las que sobrevivieron prosperaron, porque el oxígeno puede proporcionar mucha más energía que la mayoría de los «alimentos» disponibles. Por añadidura, el oxígeno libre, al llegar a las zonas altas de la atmósfera, acabó formando la capa de ozono. Aunque sólo tenía unos milímetros de espesor y estaba a 30 kilómetros de la superficie, esta capa de moléculas de tres átomos de oxígeno (O_3) protegió la Tierra de gran parte de la radiación ultravioleta y facilitó la expansión de la vida en la tierra y en el mar. Así pues, la aparición del oxígeno orientó la evolución hacia nuevos horizontes.

Estos cambios podrían explicar que aparecieran formas de vida claramente nuevas, como los organismos llamados *eucariotas*, hace 1700 millones de años^[17]. Su llegada indica que en los organismos había habido un notable aumento de complejidad genética, así que puede considerarse una de las transiciones fundamentales de la historia de la vida en la Tierra^[18]. Aunque casi todos los procariotas son de tamaño microscópico, entre 1 y 10 milésimas de milímetro, las células eucariotas suelen ser mucho mayores. Casi todas tienen un tamaño que oscila entre 10 y 100 milésimas de milímetro, lo que significa que las más grandes se pueden ver sin aparatos. Por si fuera poco, son más complejas y contienen más ADN (unas mil veces más) que la mayoría de las células procariotas, aunque parece que dejan sin aprovechar gran parte de esta información genética que tienen de más. Por último, las células eucariotas prosperan en una atmósfera abundante en oxígeno, porque saben explotar esta nueva fuente de energía. A escala paleontológica, su aparición fue también muy repentina. Margulis y Sagan recuerdan la comparación que hizo el astrónomo Chet Raymo: «La diferencia entre los eucariotas y los procariotas en el registro fósil es tan radical que es como si el Concorde hubiera despegado una semana después que la máquina voladora de los hermanos Wright^[19]» (véase la figura 5.1).

Como los eucariotas contienen más información genética que los procariotas y tienen acceso a fuentes de energía más potente, tienen más ases metabólicos en la manga y pueden generar organismos más complejos. Al extraer energía del oxígeno, los eucariotas se aprovechaban indirectamente de los frutos de los organismos fotosintetizadores, como las cianobacterias, que se pasaban la vida liberando oxígeno en la atmósfera. Los eucariotas tienen unas membranas más flexibles y adaptables que los procariotas, y esta circunstancia les permite intercambiar con el medio energía, comida y desperdicios de un modo más preciso. Los eucariotas, además, tienen su delicada maquinaria genética a buen recaudo, en un compartimiento especial que se llama *núcleo*. Por último, su interior es más complejo y presenta unas estructuras parecidas a órganos que se denominan *orgánulos*.

Según Lynn Margulis, los eucariotas aparecieron probablemente por la unión de diferentes clases de procariotas y de su material genético en una especie de simbiosis, un proceso por el que determinados organismos se independizan y acaban dependiendo entre sí. La simbiosis es un fenómeno muy común y ejemplifica uno de los aspectos más complejos del cambio evolutivo: que la competencia y la cooperación están estrechamente relacionadas. En la evolución, como en el comercio, el ganador no puede quedarse con todo en todas las transacciones. El movimiento vencedor que realiza un organismo exige a menudo cierta cooperación con otros organismos. Los biólogos identifican varias clases de simbiosis. El *parasitismo* es una relación en la que una especie se aprovecha de otra. Los cucos que ponen huevos en nidos ajenos se comportan como parásitos. Pero el parasitismo no es la depredación (en la que la víctima lo pierde todo). Si la relación ha de ser duradera y

beneficia para el parásito, el anfitrión ha de conservar la vida, al menos durante un tiempo; de lo contrario, el parásito consigue poco. En la relación llamada *comensalismo*, conviven dos especies, una se beneficia y la otra no sufre ningún perjuicio aparente. El *mutualismo* es una relación en la que las dos especies se benefician. La polinización de casi todas las plantas fanerógamas depende de los insectos o los pájaros, pero estas plantas, para atraer a los polinizadores, «ofrecen» néctar o cualquier otro alimento. La agricultura humana comporta una forma de mutualismo entre los humanos, los animales domesticados y las plantas aclimatadas. Por ejemplo, los humanos consumen maíz y en algunas regiones se morirían de hambre si las cosechas fueran malas. Pero el maíz se beneficia de esta relación, porque los humanos protegen los cultivos y contribuyen a la reproducción y prosperidad de las plantas. En realidad, las variedades actuales del maíz dependen hasta tal punto de esta relación que no podrían reproducirse sin ayuda de los humanos. Tal es la auténtica simbiosis: una relación fuera de la cual no pueden sobrevivir las dos partes o al menos una. Estas relaciones son muy frecuentes en el reino animal, porque si las dos partes obtienen algo, la relación es más estable que si una obtiene muy poco. Por eso hay tantas bacterias de enfermedades terribles que evolucionan y se vuelven menos dañinas para el anfitrión. Los ejemplos más conocidos en el mundo humano son los agentes de enfermedades «infantiles» como la varicela, que derivan de especies más implacables que agredían tanto al anfitrión que a veces lo mataban.

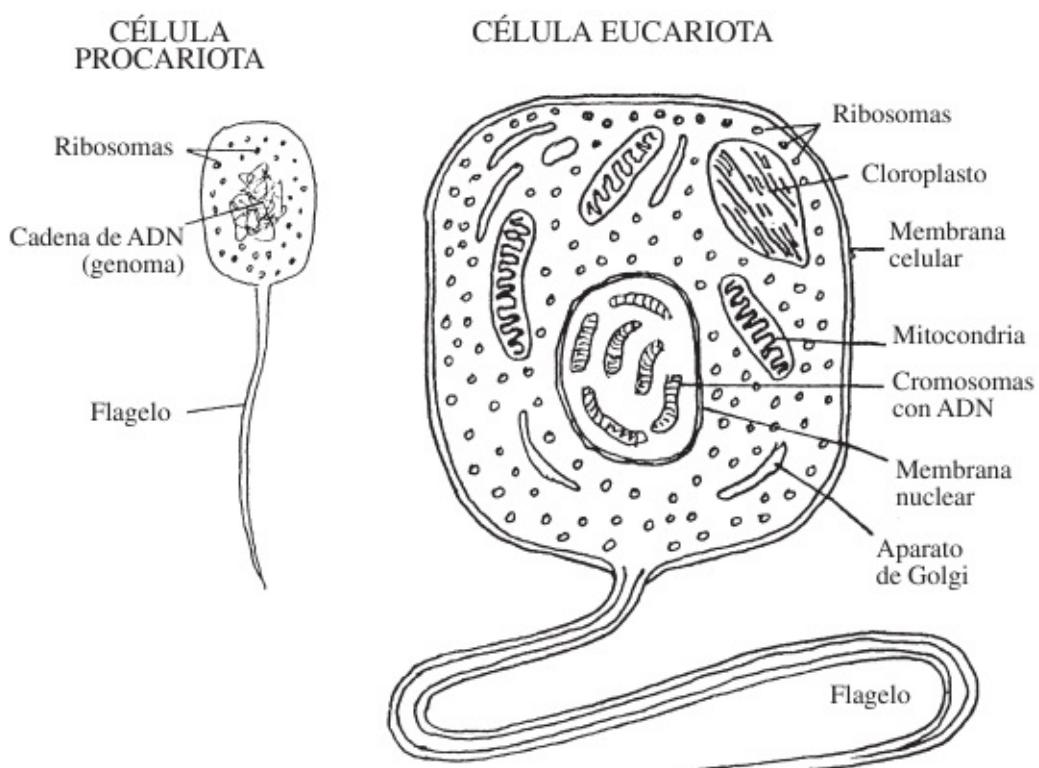


FIGURA 5.1. Comparación de células procariotas y eucariotas. Las células eucariotas son mayores y más complejas que las células procariotas. En todas las células, los ribosomas concentran proteínas según las instrucciones del ADN. Los flagelos, que permiten moverse, están presentes en casi todas las células, pero no en

todas. Pero las células eucariotas tienen además unas estructuras (los orgánulos) que no aparecen en las procariotas. Las eucariotas guardan el ADN en una zona especial (el núcleo), donde está protegido por una membrana y a menudo organizado en paquetes especiales llamados *cromosomas*. Además, tienen mitocondrias, que transforman la comida en energía química; y muchas tienen cloroplastos, que transforman la luz en energía química gracias al proceso denominado *fotosíntesis*. Por último, las eucariotas tienen un citoesqueleto, una compleja estructura de bastones y tubos proteínicos, que organiza los orgánulos del interior. De Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: From the big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, p. 164. Reimpreso con permiso de Cambridge University Press.

En los casos extremos, el mutualismo puede conducir a formar un solo organismo con las dos especies hasta entonces independientes. En este sentido, los eucariotas son los primeros organismos «policelulares». Con la aparición de los eucariotas, dicen Margulis y Sagan, «la vida avanzó otro poco y de la transferencia interconectada de genes libres pasó a la sinergia de la simbiosis. Los organismos separados se fundieron y formaron conjuntos nuevos que eran mayores que la suma de sus partes^[20]». Sabemos que fue así porque parece que los orgánulos de los eucariotas derivan de organismos procariotas, antes independientes, que posiblemente se comportaron como parásitos al principio. Entre los orgánulos de los eucariotas figuran miles de diminutos ribosomas en los que se fabrican proteínas según las recetas del ADN. Figuran también mitocondrias, especializadas en extraer el oxígeno de los compuestos químicos que «come» la célula, y lisosomas, que destruyen a los intrusos perjudiciales. El flagelo, que tiene forma de látigo y está presente en casi todos los eucariotas, le permite moverse. Así pues, los eucariotas se pueden mover en busca de un ambiente más favorable en vez de quedarse donde los lleva la corriente, como los procariotas. Es muy probable que el movimiento revolucionara muchos procesos evolutivos: «Así como la máquina de vapor aceleró los ciclos de la producción industrial, incluida la producción de más máquinas de vapor, es posible que las asociaciones de las espiroquetas iniciaran un desarrollo en cadena y aumentaran la cantidad y la variedad de las formas simbióticas de vida^[21]». Los eucariotas fotosintetizadores contienen cloroplastos, unos paquetes de clorofila. Es muy probable que los primeros eucariotas fueran algas verdes. Que algunos orgánulos, como las mitocondrias y los cloroplastos, contengan todavía su propio ADN (las mitocondrias tienen una docena de genes) induce a pensar que los eucariotas surgieron por la unión simbiótica de organismos que antes habían sido diferentes.

Los eucariotas se reproducen de un modo más complejo que los procariotas. Mientras que éstos generan copias idénticas de sí mismos, aquéllos se reproducen sólo después de fundir el material genético de dos individuos. El ADN de dos adultos se combina al azar y produce nuevos filamentos de ADN que contienen genes de aquéllos. En consecuencia, los individuos eucariotas se diferencian más entre sí que los procariotas. Ya no son clones de sus progenitores. Esta innovación, el primer paso hacia la reproducción sexual, tuvo una profunda repercusión en el ritmo del cambio evolutivo, ya que dio a la selección natural más formas físicas entre las que elegir

para la siguiente generación. La aceleración evolutiva propiciada por la aparición de los organismos eucariotas y de la reproducción sexual explica por qué la vida, en los últimos mil millones de años, ha prosperado por caminos completamente nuevos y ha creado la abundancia de formas vitales grandes que hay actualmente en la Tierra. La reproducción sexual representa, con la aparición de los eucariotas, uno de los puntos de inflexión más importantes de la historia de la vida en el planeta^[22].

LA EXPLOSIÓN CÁMBRICA: DEL MICROCOSMOS AL MACROCOSMOS

La aparición de las células eucariotas fue parte de una serie de cambios evolutivos cuya importancia histórica sólo es inferior a la aparición misma de la vida.

La reproducción sexual aceleró el cambio evolutivo. Con la creciente cantidad de oxígeno libre en la atmósfera y la aparición de la respiración (es decir, la capacidad para extraer energía del oxígeno) hubo más energía a disposición de formas metabólicas cada vez más numerosas, diferentes y capaces. Y algo quizás más importante: que los organismos eucariotas se asociaron en grupos que al final formaron los primeros organismos policelulares. En conjunto, estos cambios contribuyen a explicar la «explosión cámbrica», la rápida proliferación de formas de vida más grandes, complejas y energéticas que comenzó de un modo relativamente brusco hace casi 600 millones de años.

Es posible que los primeros organismos policelulares (que hay que diferenciar de las simples colonias de organismos independientes como los estromatolitos) aparecieran hace 2000 millones de años^[23]. Pero sólo empezaron a generalizarse mil millones de años después. Antes de prosperar tuvieron que vencer algunos obstáculos serios. El más importante de todos era que las células tenían que ser capaces de comunicarse y cooperar entre sí, y en cantidades ingentes.

No era empresa fácil. Para entender cómo ocurrió convendría distinguir entre varias clases de cooperación biológica. Una es la simbiosis, que ya conocemos. Otra se produce con la formación de sociedades o colonias de individuos de la misma especie. Estas sociedades animales se sostienen a veces sin mucha cohesión. Sabemos que los organismos primitivos, como las cianobacterias, se organizaban en grandes colonias, porque los estromatolitos se formaron a partir de ellas. Sin embargo, aunque daban protección a los individuos, no eran ejemplos de simbiosis, ya que los individuos podían sobrevivir solos si hacía falta. Algunas esponjas de nuestros días parecen organismos individuales, pero la verdad es que podrían pasar por un tamiz. Se filtrarían en forma de pulpa y recuperarían la forma anterior conforme las células individuales se fueran reagrupando. No menos extraordinaria es una clase de ameba que se nutre de bacterias. Joël de Rosnay nos explica:

Si se le quita la comida y el agua, emite una hormona de auxilio. Otras amebas corren a rescatarla y forman a su alrededor una colonia de unas mil unidades, mil «individuos», por así decirlo, que se mueven como una babosa en busca de comida. Si no la encuentran, dejan de moverse, levantan un tallo productor de esporas y se quedan así indefinidamente, como si nada, mientras el tallo esté seco. Pero si se le echa agua, las esporas germinan y se crean mixoamebas independientes que se van cada una por su lado^[24].

Estas entidades constan básicamente de millones de individuos independientes que se apelotonan y llegan a trabajar en equipo cuando hace falta.

En los animales llamados sociales, como las hormigas y las termitas, la dependencia de los individuos es mayor. En las colonias de hormigas y termitas hay muchos individuos estériles. Esta clase de cooperación plantea un serio problema a la teoría de la evolución, pues ¿qué beneficio evolutivo puede haber para los individuos que no tienen descendencia? ¿Por qué se producen genes que parecen suicidarse de este modo? La probable respuesta es que la selección natural funciona en estas comunidades mientras los organismos cooperantes mantienen una estrecha relación entre sí. Los genes que estimulan a los organismos individuales a aumentar las probabilidades de reproducción de los parientes próximos aumentan indirectamente sus propias probabilidades de supervivencia. Por ejemplo, una obrera estéril comparte tal vez el 50 por 100 de su material genético con otras hormigas de la colonia que pueden reproducirse. Al ayudarlas a reproducirse, potencia la supervivencia de muchos genes propios. En realidad, podría demostrarse matemáticamente que, en ciertas situaciones, se puede maximizar la supervivencia de genes concretos no sólo teniendo muchos descendientes, sino también ayudando a los parientes a tenerlos. Pero tienen que ser parientes muy cercanos. (El genetista J. B. S. Haldane comentó en cierta ocasión que él se sacrificaría por dos hermanos o por ocho primos; con esto se refería a que compartía la mitad de su material genético con sus hermanos, pero sólo la octava parte con sus primos)^[25]. Sólo con argumentos de esta clase se puede demostrar que el mecanismo darwiniano de la selección natural puede dar lugar a individuos que cooperan con otros miembros de su especie, incluso cuando la cooperación reduce sus probabilidades reproductoras inmediatas.

Los organismos policelulares son un caso extremo de esta clase de cooperación. Los organismos como los seres humanos están compuestos por cientos de miles de millones de células, a pesar de lo cual sólo una pequeña porción, las llamadas células madre, tienen alguna probabilidad de reproducirse. ¿Por qué las células de los huesos, la sangre y el hígado tienen esta capacidad? Parece que la respuesta es que estas células contienen el mismo material genético. Son clones, lo que quiere decir que sus moléculas de ADN son iguales. Cooperando maximizan las probabilidades de supervivencia del programa genético común. Desde el punto de vista genético, tienen el mismo «interés» por asegurar la supervivencia y reproducción de todo el organismo y en consecuencia también del pequeño grupo de células madre. En estos organismos, miles de millones de células cooperan estrechamente, tanto que ya no pensamos en ellas como si fueran organismos individuales, sino como si fueran parte de un solo organismo policelular y complejo.

Por lo tanto, antes de que aparecieran los organismos policelulares tuvo que haber un mecanismo que permitiera que una sola célula madre (un óvulo fértil) pudiera multiplicarse y producir muchos ejemplares de células adultas y genéticamente iguales. Lo que sucede es que las células heredan el mismo material genético; pero conforme se desarrolla el organismo, los factores externos van activando unos genes u otros en distintas células, con lo que éstas acaban desarrollándose de manera diferente. Una vez establecidos, estos cambios genéticos pueden transmitirse a otras células; y así, una sola célula cerebral puede multiplicarse y producir muchas células hija que serían clones suyos^[26]. Del mismo modo, las células de los músculos producen más células musculares, las óseas más células óseas, etc. Esta forma secundaria de herencia, por la que en cada célula se expresa sólo parte del genoma total contenido en el ADN, es característica del desarrollo celular de todos los organismos policelulares.

El testimonio fósil más antiguo que se conoce sobre los organismos policelulares se remonta a la era ediacárica, hace 590 millones de años aproximadamente. Pero cuando los testimonios se vuelven realmente abundantes es en la era cámbrica, desde hace 570 millones de años aproximadamente. Desde el punto de vista geológico aparecieron de súbito unos organismos con un caparazón protector, hecho con secreciones de carbonato cálcico. Estos caparazones han llegado hasta nosotros en forma fósil en sorprendente estado de conservación. La aparición planetaria de caparazones señala el comienzo de la era cámbrica, pero no es fácil decidir si se trata de una auténtica proliferación de organismos policelulares o simplemente de la aparición de organismos con más probabilidades de fosilizarse.

Los organismos policelulares más grandes, como los árboles o los humanos, pueden tener hasta 100 000 millones de células, tantas como estrellas hay en la Vía Láctea. Los humanos pueden tener hasta 250 clases de células o más, fabricadas y controladas por las actividades de unos 30 000 genes. En el otro extremo están los organismos policelulares más simples, como la mosca de la fruta, que sólo tiene alrededor de sesenta clases de células. El pólipo llamado hidra, un invertebrado tubular y transparente que mide unos 30 milímetros, sólo tiene sesenta clases de células^[27]. Es evidente que la aparición de la policelularidad representó un aumento importante en la complejidad de los organismos. (Como siempre, hemos de guardarnos de suponer que «más complejo» signifique «mejor»).

Pocas especies policelulares sobreviven en el registro fósil más allá de unos cuantos millones de años. En consecuencia, las especies policelulares que existen actualmente representan una proporción muy pequeña de las muchas que han aparecido en los últimos 600 millones de años. A pesar de todo, algunas especies grandes aparecidas después de la explosión cámbrica se han conservado de un modo muy notable. Como si hubieran aparecido modelos canónicos generales, dentro de los cuales la evolución conjugara pequeñas variantes.

Para comprender la historia de las diferentes clases de organismos policelulares necesitamos un sistema de clasificación, una *taxonomía*. Los biólogos dividen las especies en grupos y subgrupos. La unidad clasificatoria más pequeña es la especie. Una especie consta de organismos tan parecidos biológicamente que, en principio, pueden procrear entre ellos, pero no con miembros de otra especie. Los humanos actuales forman una sola especie. Según una conocida definición, una especie consta de «grupos de poblaciones naturales real o potencialmente cruzadas, aislados a nivel reproductor de otros grupos parecidos^[28]». Las especies que se asemejan se agrupan en géneros, los géneros relacionados se agrupan en familias y superfamilias, y éstas, a su vez, en órdenes, clases, clados y, por último, reinos e incluso superreinos.

Los biólogos actuales no se ponen de acuerdo sobre la mejor forma de clasificar a los organismos en los niveles superiores. Linneo, el inventor del método de clasificación moderno, agrupó todos los organismos vivos en dos grandes reinos: el vegetal y el animal. Sin embargo, con el desarrollo del microscopio, los biólogos advirtieron que había un amplio muestrario de organismos unicelulares que no encajaban en ninguno de los dos reinos. A mediados del siglo XIX, el biólogo alemán Ernst Haeckel sugirió que todos los organismos unicelulares se agruparan en un solo reino, el de los protistas. En la década de 1930, los biólogos se percataron de que había una diferencia fundamental entre las células con núcleo y las que carecían de él. En consecuencia, agruparon a todos los organismos vivos en dos reinos, el de los procariotas (organismos cuyas células no tenían núcleo) y el de los eucariotas (organismos cuyas células tenían núcleo). En algunas clasificaciones, el reino eucariota comprende todos los organismos policelulares. En la segunda mitad del siglo XX aparecieron razones de peso para proponer la creación de reinos independientes para los hongos y los virus (que son tan simples que para reproducirse necesitan el metabolismo de otros organismos). En la década de 1990, Carl Woese propuso otra clasificación general para diferenciar las arquebacterias de otras formas bacterianas. Al igual que todos los procariotas, las arquebacterias no tienen núcleo; pero a diferencia de otros procariotas no absorben energía de la luz ni del oxígeno, sino de otros cuerpos químicos.

La tabla 5.1 refleja un sistema de clasificación actual en el nivel más alto. Admite dos superreinos, los procariotas y los eucariotas, que a su vez abarcan cinco reinos: los monera (el único reino de los procariotas), los protistas (eucariotas unicelulares) y los vegetales, animales y hongos (todos eucariotas policelulares). Ciñéndonos a este sistema, diremos, por ejemplo, que los humanos actuales pertenecen al superreino de los eucariotas, al reino animal, al clado de los vertebrados, a la clase de los mamíferos, al orden de los primates, a la superfamilia de los hominoideos (que comprende a humanos y monos), a la familia de los homínidos (que comprende a humanos, gorilas y chimpancés), a la subfamilia de los homíninos (que comprende a los humanos y a sus antepasados de los últimos 4-5 millones de años), al género *Homo* y a la especie *sapiens*^[29].

TABLA 5.1. LA CLASIFICACIÓN EN CINCO REINOS.

<i>Superreino</i>	<i>Reino</i>	<i>Miembros</i>
Procariotas (organismos unicelulares sin núcleo)	Monera	Bacterias, algas verdiazules y arquebacterias (puestas a veces en un reino independiente)
Eucariotas (organismos cuyas células tienen núcleo y orgánulos)	Protistas (generalmente unicelulares)	Protófitos, protozoos y mixomicetos
	Vegetales (policelulares, tienen clorofila, fotosintetizan y por lo general no se mueven)	Algas, briofitos (musgos, hepáticas, <i>ceratophyllum</i>), helechos, psilotos, licopodios, coníferas, gnetos, ginkgos, cicadales y plantas con flor
	Hongos (policelulares, sin clorofila, obtienen energía descomponiendo restos orgánicos, normalmente no se mueven)	Levaduras, setas y champiñones
	Animales (policelulares, sin clorofila, obtienen energía de otros organismos, por lo general semovientes)	Protozoos, esponjas, corales, platelmintos, tenias, artrópodos, moluscos, braquiópodos, anélidos, briozos, equinodermos, hemicordados y cordados, entre ellos los vertebrados

Los organismos policelulares se dividieron en seguida en tres grandes reinos: vegetales (organismos que obtienen la energía por fotosíntesis), animales (organismos que consumen otros organismos) y hongos (organismos que digieren otros organismos exteriormente y luego absorben sus nutrientes). En la era ediacárica, que se extendió entre 590 y 570 millones de años antes del presente, aparece una asombrosa variedad de organismos policelulares, algunos muy parecidos a organismos que existen todavía, como las esponjas, los gusanos acuáticos, los corales y los moluscos. Pero había especies que no se parecían en nada a las actuales. Esto mismo puede decirse de muchos organismos cámbicos como los desenterrados en el «Burgess shale» de la Columbia británica, que tienen alrededor de 520 millones de años. Fue sin duda un período de experimentación genética. De allí surgió, por adaptación o quizás (como ha aducido Stephen Jay Gould) por la misma exuberancia del cambio evolutivo, una serie de pautas básicas para la organización de los vegetales y los animales^[30]. Muchas de aquellas pautas siguen vigentes en la actualidad.

El hallazgo de esporas fósiles de la era ordovícica (hace 510-440 millones de años) da a entender que los vegetales fueron los primeros organismos policelulares que abandonaron el mar y colonizaron la tierra seca. Un paso así equivalía a colonizar otro planeta. Por encima de todo, el proceso exigía un equipo especial de protección para impedir que el organismo se secara y muriese. El húmedo interior tenía que estar protegido por alguna clase de capa aislante; en realidad, todos los animales terrestres llevan todavía en su interior un pequeño equivalente del mar y es ahí donde se fecundan sus crías y empiezan a crecer. Una vez en tierra y faltos de la flexibilidad del agua, los cuerpos necesitaron adquirir más rigidez interna, un problema generalmente resuelto por la formación de esqueletos con compuestos cárnicos secretados por las células. Tenían que aparecer asimismo formas especiales de alimentarse, respirar y reproducirse. La tierra, como han dicho sucintamente Margulis y Sagan, era un medio infernal, «con un sol abrasador, viento helado y seguridad reducida^[31]». Los colonos de aquella tierra seca primitiva eran parecidos a las hepáticas y helechos actuales. Los primeros árboles con semillas aparecieron durante el período devónico (hace 410-360 millones de años). Estos árboles formaron grandes bosques de los que procede la mayor parte de las reservas actuales de carbón. (El carbón, como el petróleo y el gas natural, los otros dos «combustibles fósiles» principales, está formado por los restos fosilizados de organismos que estuvieron vivos en otros tiempos).

Los animales han desarrollado más la policelularidad que los vegetales. Sus células están más especializadas y se comunican mejor entre sí. Los animales se han especializado también en la movilidad y el comportamiento complejo. Pero no tiene por qué ser motivo de orgullo; más bien es un indicio de la omnipresencia de las relaciones simbióticas en la evolución, porque los vegetales no sólo se alimentan de animales, sino que además aprovechan su movilidad para dispersar sus semillas. No necesitan cerebro ni patas: utilizan los nuestros^[32]. Los primeros animales que se movieron en tierra fueron probablemente artrópodos, más o menos como insectos gigantes. Tenemos noticia de su existencia desde el período silúrico (hace 440-410 millones de años). Eran criaturas parecidas a los escorpiones actuales, pero con el tamaño de los seres humanos. Los artrópodos, por ejemplo las langostas de río actuales, tienen el esqueleto por fuera. Por el contrario, los vertebrados, el grupo animal que comprende a los humanos, lo tienen dentro. Los primeros vertebrados aparecieron en el mar, durante el período ordovícico, hace entre 510 y 440 millones de años, y descendían de organismos parecidos a los gusanos. Comprendían formas primitivas de peces y tiburones. Todos los vertebrados tenían columna vertebral, extremidades y un sistema nervioso cuyas ramificaciones estaban concentradas en un extremo, la cabeza. Este manojo de nervios que coronaba la columna fue el primer encéfalo. Con el tiempo acabó siendo la sede de la conciencia, porque en algún momento de la evolución del encéfalo de los vertebrados (no sabemos cuándo)

apareció la capacidad no sólo de reaccionar a los estímulos, sino también de *sentirlos*, de tener constancia de su presencia.

Con los primeros sistemas nerviosos podemos arriesgarnos a afirmar que aparecieron también formas simples de «conciencia», siempre que aceptemos la definición de Nicholas Humphrey según la cual la conciencia es la capacidad de tener sensaciones, aunque no haya pensamiento sistemático ni autoconciencia. «Ser consciente es básicamente tener sensaciones, es decir, tener representaciones mentales con emociones de algo que me ocurre a mí aquí y ahora^[33]». Pero es evidente que la conciencia tiene grados o niveles y éstos dependen de cómo se representa y experimenta el cerebro el mundo exterior. Terrence Deacon ha dicho que la experiencia a la que Humphrey se refiere en realidad debería llamarse *sensibilidad*, mientras que la palabra *conciencia* debería aplicarse al fenómeno por el que el organismo «se representa aspectos del mundo^[34]». Aduce que todas las criaturas con sistema nervioso pueden hacerse representaciones interiores del mundo exterior que les permitan reaccionar de forma más compleja ante los cambios externos. Así, un oso acabará por entender que hay semejanzas entre todos los animales que parecen osos. También es posible que aprenda que hay una estrecha relación entre el comienzo del invierno y el deseo de hibernar. Estas representaciones intuitivas del mundo exterior podrían darse en todos los animales con sistema nervioso, aunque su diversidad, la cantidad de vínculos entre ellas y la capacidad de las sensaciones asociadas a ellas pueden aumentar en especies con encéfalo mayor. Pero Deacon arguye además que sólo los humanos piensan con símbolos, es decir, con signos arbitrarios que relacionan muchas clases de representaciones y pueden crear mundos interiores propios^[35]. En consecuencia, es bastante probable que el mundo interior humano tenga mucho en común con el de los primeros organismos con encéfalo, aunque el brillo cegador de nuestro pensamiento simbólico eclipse mentalmente estas formas universales y más directas de sensación. Las sensaciones que acechan en el fondo de nuestra conciencia probablemente son comunes a todos los organismos que son «conscientes» en este sentido minimalista.

Aunque las primeras formas de conciencia aparecieron en el mar, prosperó del modo más espectacular en tierra. Los vertebrados colonizaron la tierra seca a finales del período devónico, aunque es posible que dieran los primeros pasos ya en el silúrico. Los vertebrados terrestres actuales siguen pareciéndose en lo que se refiere al diseño básico. Todos tienen cuatro extremidades, cada una con cinco dedos, aunque en algunos casos, como el de las serpientes, las extremidades y los dedos hayan desaparecido casi por completo. Estas semejanzas dan a entender que todos —anfibios, reptiles, aves y mamíferos— descienden de los primeros colonos de la tierra seca. Los primeros anfibios surgieron de los peces que respiraban oxígeno y que podían moverse en tierra con ayuda de las aletas, como en el caso del dipneo actual. Sin embargo, los anfibios tienen que depositar los huevos en el agua, lo cual les obliga por lo general a estar cerca de las costas, los ríos y las charcas. Los reptiles

acabaron poniendo huevos de cáscara dura, del mismo modo que el árbol acabó produciendo semillas con un envoltorio resistente, así que las dos clases de organismo pueden reproducirse en tierra seca. Los primeros reptiles aparecieron hace alrededor de 320 millones de años, durante la era carbonífera (hace 360-290 millones de años). Pero hay testimonios crecientes de que empezaron a proliferar después de la «gran mortandad», las extinciones masivas de hace unos 250 millones de años (a finales del período pérmico), ocasionadas al parecer, como luego la extinción del cretácico, por el impacto de un asteroide de gran tamaño^[36]. Desde el punto de vista de los humanos actuales, los reptiles antiguos más espectaculares fueron los dinosaurios. Aparecieron durante el triásico (hace 250-210 millones de años) y proliferaron hasta el final del cretácico, hace unos 65 millones de años^[37].

Los indicios más recientes dan a entender que muchas especies de dinosaurios murieron bruscamente a raíz de la colisión de un asteroide con la Tierra, que levantó una gigantesca nube de polvo^[38]. El impacto del cretácico pudo ser la causa del cráter Chixculub del norte de la península de Yucatán, que tiene 200 kilómetros de diámetro. Dado que la nube ocultó el Sol, las temperaturas de la Tierra tuvieron que ser muy bajas durante muchos meses. Luego, con el planeta envuelto en capas de polvo, se creó probablemente un efecto invernadero y las temperaturas volvieron a subir. Estas brutales fluctuaciones térmicas bastaron para eliminar muchas especies de criaturas adaptadas al calor. Las aves actuales, con su capa aislante de plumas, podrían descender de las especies de dinosaurios que sobrevivieron a la catástrofe de finales del cretácico.

MAMÍFEROS Y PRIMATES

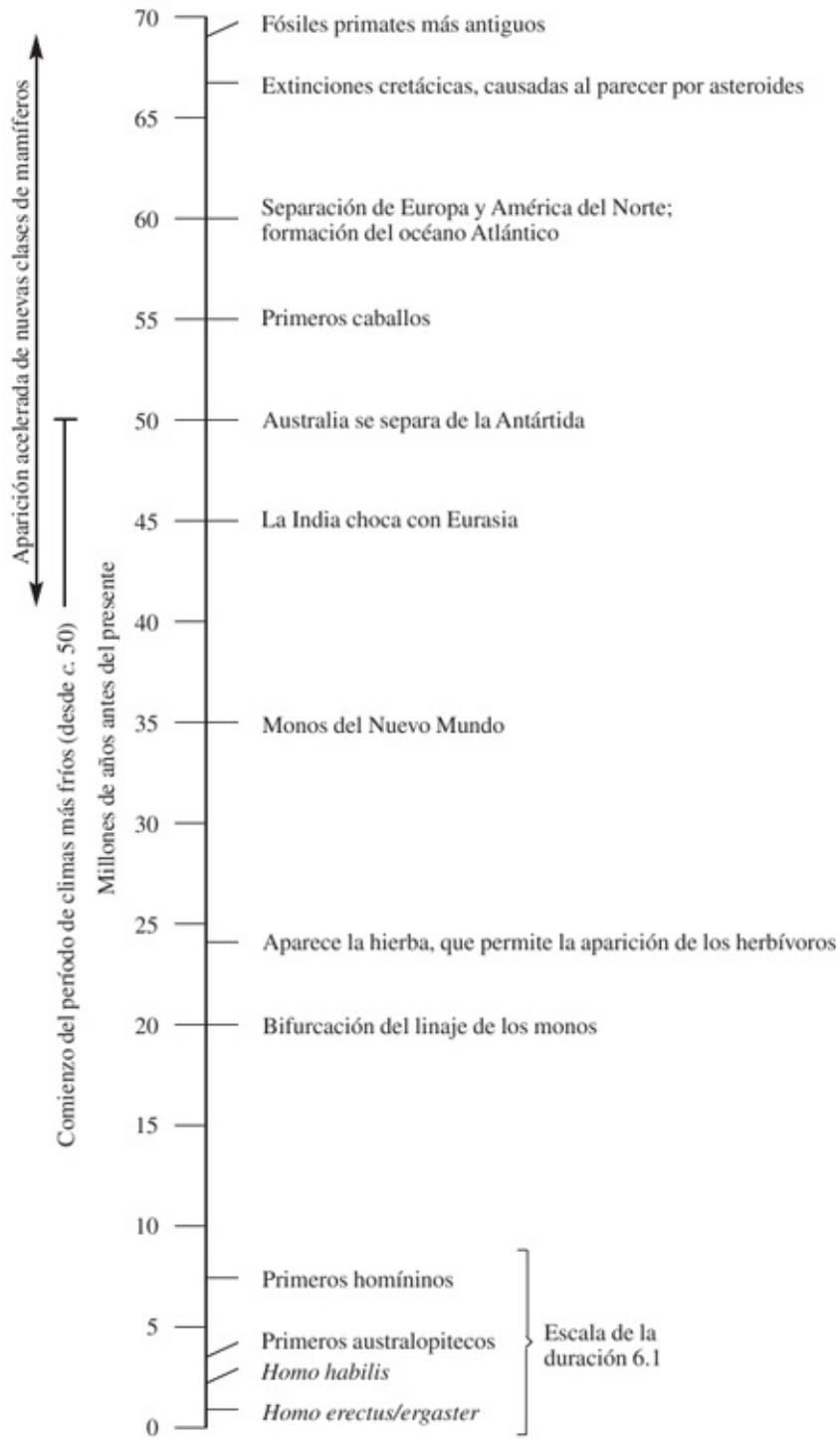
A diferencia de los reptiles, los mamíferos tienen sangre caliente y están cubiertos de pelo. Las crías, antes de nacer, reciben alimento en el interior del cuerpo de la hembra y, después del nacimiento, de glándulas sudoríparas modificadas que producen leche (véase la duración 5.2).

Los mamíferos aparecieron en el triásico, aproximadamente a la vez que los primeros dinosaurios. Sin embargo, fueron de tamaño, variedad y cantidad limitados durante el reinado de los dinosaurios. Los mamíferos eran por lo general criaturas pequeñas y nocturnas, y probablemente tenían el tamaño de los actuales musgaños. Es posible que su pequeñez y el hecho de vivir en madrigueras subterráneas les salvara de perecer en la catástrofe que eliminó a casi todos los dinosaurios. Tras la desaparición de éstos, los mamíferos proliferaron de manera espectacular. Pronto ocuparon los nichos que habían dejado vacíos los grandes reptiles. Aparecieron mamíferos herbívoros, mamíferos carnívoros, mamíferos insectívoros y mamíferos arborícolas. Así pues, el impacto del asteroide de finales del cretácico debe considerarse un acontecimiento crucial de la prehistoria de nuestra especie. Si el

asteroide hubiera seguido una trayectoria ligeramente distinta, es decir, si hubiera sido un poco más rápido o un poco más lento, los mamíferos habrían seguido siendo de tamaño y variedad limitados, y es posible que nuestra especie no hubiera aparecido.

La crisis de finales del cretácico es una muestra de la volubilidad e indeterminación del cambio evolutivo. La evolución no tiene una dirección preestablecida. En la aparición de la vida en la Tierra no había una necesidad intrínseca. Puede que hubiera algunas probabilidades de que aparecieran organismos fotosintetizadores o de que con el tiempo apareciesen organismos policelulares^[39]. En este sentido limitado, había algunas probabilidades de que en cierto momento aparecieran organismos mayores y más complejos. Pero no era necesario ni inevitable que la evolución siguiera el rumbo concreto que siguió en la Tierra.

Los humanos pertenecen al grupo mamífero llamado de los *primates*. Los primates actuales comprenden alrededor de 200 especies de monos, lémures y simios de la familia humana. Casi todas han sido arborícolas. Este nicho concreto favoreció la aparición de extremidades con dedos prensiles (que pueden asir objetos); de ojos con visión estereoscópica, para calcular las distancias con precisión; y de un cerebro capaz de regir los complejos movimientos de las extremidades y de procesar la compleja información de los ojos. Los primeros primates aparecieron poco después de la extinción de los dinosaurios; el grupo se diversificó rápidamente, sin saber que era gracias al casual aterrizaje forzoso que se había producido en Chixculub.



DURACIÓN 5.2. Escala de las expansiones mamíferas: 70 millones de años.

Los humanos pertenecen a la superfamilia primate de los hominoideos. En ella se incluye a los humanos, a los monos afines (chimpancés, gorilas, gibones y orangutanes) y a muchas especies hoy extinguidas. El registro fósil indica que los primeros hominoideos aparecieron en África hace alrededor de 25 millones de años. Que nuestros antepasados evolutivos procedieran de África es una idea que ya sostenía Darwin, aunque contaba con muchos menos testimonios que nosotros. Su argumentación era sencilla: los animales que más se nos parecen en el mundo moderno están en África. Los chimpancés y los gorilas, decía, se parecen más a los humanos modernos que a los orangutanes asiáticos. Para sus contemporáneos, sin

embargo, hacer diferencias entre los chimpancés y los orangutanes carecía de sentido; lo que escandalizaba y ofendía era la idea misma de que los humanos pudieran estar emparentados con los monos, fuera cual fuese la especie. Pero la idea en cuestión no era tan novedosa como se quería presentar, ya que muchas comunidades han pensado tradicionalmente que los primates están estrechamente relacionados con los humanos. El padre Alvares, un misionero portugués que estuvo en Sierra Leona a comienzos del siglo XVII, contaba que «algunos paganos afirman que descienden de este animal [el *dari*, es decir, el “chimpancé”] y, cuando lo ven, se apiadan de él; nunca le hacen daño ni le golpean, porque piensan que es el alma de sus antepasados y ellos se tienen a sí mismos por seres de origen muy noble. Dicen que son de la familia del animal y todos los que se creen sus descendientes se denominan a sí mismos *amienu*^[40]».

Según la clasificación que hemos adoptado en este libro, los hominoideos se dividen en tres grupos principales: los homínidos, los póngidos (orangutanes) y los hilobátidos (gibones). Los homínidos, a su vez, comprenden dos grupos principales: los gorilinos (gorilas y chimpancés) y los homíninos. Los homíninos son los primates que por lo general andan apoyándose en dos patas. Las técnicas de datación molecular sugieren que la línea homínina se separó de los gorilinos hace entre 5 y 7 millones de años. Los humanos actuales son los únicos homíninos que quedan con vida, aunque el grupo comprendía varias especies extinguidas, entre ellas la de nuestros antepasados inmediatos (véase el capítulo 6).

LA EVOLUCIÓN Y LA HISTORIA DE LA TIERRA: «GAIA»

He contado la historia de la vida en la Tierra y la del propio planeta como si fueran distintas. La verdad es que están estrechamente relacionadas. La aparición de nuevas formas de vida introdujo en la atmósfera tal cantidad de oxígeno libre que ésta se modificó. Los restos de los millones de animales y vegetales que murieron formaron las rocas carboníferas y los grandes depósitos de los combustibles fósiles que mueven la industria actual, y en este sentido transformaron la geología de la Tierra. Mientras tanto, las arquebacterias excavaron y perforaron el subsuelo marino.

Es posible que el impacto que produjo la vida en el planeta tuviera consecuencias de más largo alcance. James Lovelock ha sostenido que la cooperación entre los organismos vivos es mucho más amplia de lo que normalmente admitimos. Según Lovelock, todos los organismos vivos forman en cierto modo un solo sistema planetario, que él llama *Gaia* (pronúnciese «Gea» o «Guea»), por la diosa griega de la Tierra. *Gaia* funciona como un gigantesco superorganismo autorregulador que de manera automática mantiene un medio en condiciones aptas para la vida en la superficie del planeta.

La hipótesis Gaia, cuando la formulamos en los años setenta, venía a decir que la atmósfera, los mares, el clima y la corteza terrestre se regulaban, merced al comportamiento de los organismos vivos, para mantener unas condiciones cómodas para la vida. La hipótesis decía en concreto que la temperatura, el estado de oxidación, la acidez y ciertos aspectos de las rocas y las aguas son constantes en todo momento, y que esta homeostasis se mantiene en virtud de procesos activos de retroacción que la biota pone en marcha automáticamente y sin saberlo^[41].

Para ilustrar estos mecanismos, Lovelock pone el caso del calor emitido por el Sol, que muy probablemente ha aumentado alrededor del 40 por 100 en los últimos 4600 millones de años, a pesar de lo cual las temperaturas se han mantenido al parecer alrededor de los 15 grados centígrados o al menos dentro de un margen apto para que la vida aparezca y prospere. ¿Qué mecanismos podrían mantener tan estable un termostato planetario? Las poblaciones de algas podrían ser un ejemplo de estos procesos de retroacción que vinculan el mundo vivo con el no vivo. Muchas algas generan un gas llamado dimetilsulfuro (DMS). Cuando reacciona con el oxígeno de la atmósfera, el DMS forma partículas diminutas alrededor de las cuales se condensa vapor de agua. En efecto, al producir DMS en grandes cantidades, las algas fabrican nubes. La abundancia de nubes reduce la cantidad de luz solar que llega a la superficie del planeta, ésta se enfriá y se reduce la cantidad de algas de superficie. El resultado es que también se reduce la cantidad de DMS generado, las nubes comienzan a desaparecer y aumenta la cantidad de luz solar que llega a la superficie. Así pues, las algas crean una especie de termostato planetario que mantiene la temperatura de la superficie dentro de un margen de temperaturas, ajustando sin cesar la densidad de la capa de nubes. La teoría de Lovelock sostiene que la biosfera (la totalidad de la vida que puebla la Tierra) se mantiene en equilibrio en virtud de muchos bucles interrelacionados de retroacción negativa como el descrito^[42].

Un motivo por el que la teoría de Lovelock ha sido acogida con escepticismo es que no explica satisfactoriamente por qué las especies concretas tendrían que haber evolucionado en beneficio del conjunto de la biosfera. La teoría de la selección natural nos induce a pensar que la fuerza dominante de la evolución es la competencia y no la cooperación, porque hay muchos individuos y pocos nichos. La cooperación entre las especies exige siempre una explicación especial. Dentro de los organismos policelulares, la cooperación se explica en principio por la semejanza genética. Y ya hemos visto que hay varias formas de simbiosis en que se benefician las dos especies. Pero la idea de cooperación a escala global es difícil de explicar. ¿Hay algún motivo para que las algas desarrollaran la capacidad de emitir DMS, además de porque resulta «adaptativa» para las especies que han desarrollado esta facultad, porque les ayuda a reproducir sus genes? Lovelock ha dicho siempre que detrás de estos procesos tiene que haber una lógica darwiniana, pero explicar esta lógica no es sencillo. En algunos casos concretos vemos a veces que los beneficios de una especie particular coinciden con los del conjunto de la biosfera. Por ejemplo, se ha sugerido que algunas algas podrían elevarse a gran altura con las corrientes de aire y descender luego con la lluvia. Como distribuye a los descendientes por una zona

geográfica amplia, este proceso supone una clara ventaja evolutiva para la especie en general. La liberación de DMS podría contribuir al proceso de varias maneras. Al reaccionar con el oxígeno, el DMS puede generar calor que a su vez puede crear corrientes ascendentes para arrastrar bacterias. Ya en las nubes, el vapor de agua y los cristales de hielo que se forman alrededor de los subproductos de la reacción pueden impedir que las algas se sequen en las alturas. Los mismos cristales de hielo pueden servir igualmente para bajarlas a la superficie. Estos argumentos, a semejanza de la «mano invisible» de la teoría económica de Adam Smith, podrían explicar cómo la competencia entre individuos y especies producía resultados que, en general, eran beneficiosos para la mayoría de las formas de vida. La siembra de nubes podría ser sólo un medio más entre muchos por el que la vida misma, sobre todo la bacteriana, contribuye a mantener la biosfera en condiciones aptas para la supervivencia de la vida en general^[43].

Hay otra posibilidad y es que la cooperación es mucho más natural en el reino bacteriano que en el de los organismos mayores, porque las bacterias intercambian información genética más libremente que aquéllos. Como ya hemos visto, las bacterias pueden intercambiar replicadores con la facilidad con que los humanos actuales intercambian dinero. Esto significa que la selección natural, por lo menos en el mundo bacteriano, moldea equipos enteros de bacterias que trabajan juntas. Como han dicho Margulis y Sagan:

Puesto que su ínfima cantidad de genes le impide desarrollar funciones metabólicas, una bacteria tiene, por necesidad, que trabajar en equipo. Una bacteria no funciona nunca individualmente en la naturaleza. En todo nicho ecológico hay equipos de bacterias de diversas clases que viven en comunidad, respondiendo al medio y reformándolo, ayudándose entre sí con enzimas complementarias. [...] Estrechamente interrelacionadas de este modo, las bacterias ocupan los entornos y los alteran radicalmente. En grandes cantidades que varían, llevan a cabo funciones de las que son incapaces a título individual^[44].

Si este argumento es correcto, es posible que la cooperación bacteriana se extienda a escala planetaria, en cuyo caso sería más fácil explicar la cooperación que Lovelock detectó en *Gaia*. Desde luego, explicaría el hecho de que las bacterias parezcan desempeñar los papeles principales en el mantenimiento de la viabilidad de la biosfera.

Esté o no equivocada la hipótesis Gaia, es una idea interesante e inspiradora que *se non è vera, è ben trovata*. Además, salta a la vista que los organismos vivos han transformado la superficie de la Tierra. Pero también puede afirmarse lo contrario. Los cambios geológicos han dado forma a la evolución. En las eras en que casi toda la masa continental estaba unida había menos biodiversidad que en las eras en que los continentes estaban separados, dado que había menos diversidad ecológica. En la actualidad, los continentes están muy separados, de manera que la vida ha sido excepcionalmente heterogénea en la historia reciente del planeta (hasta los últimos siglos, en que nuestra propia especie se puso a reducir la diversidad). Al alterar la cantidad y la variedad de los nichos disponibles, la reorganización de los continentes,

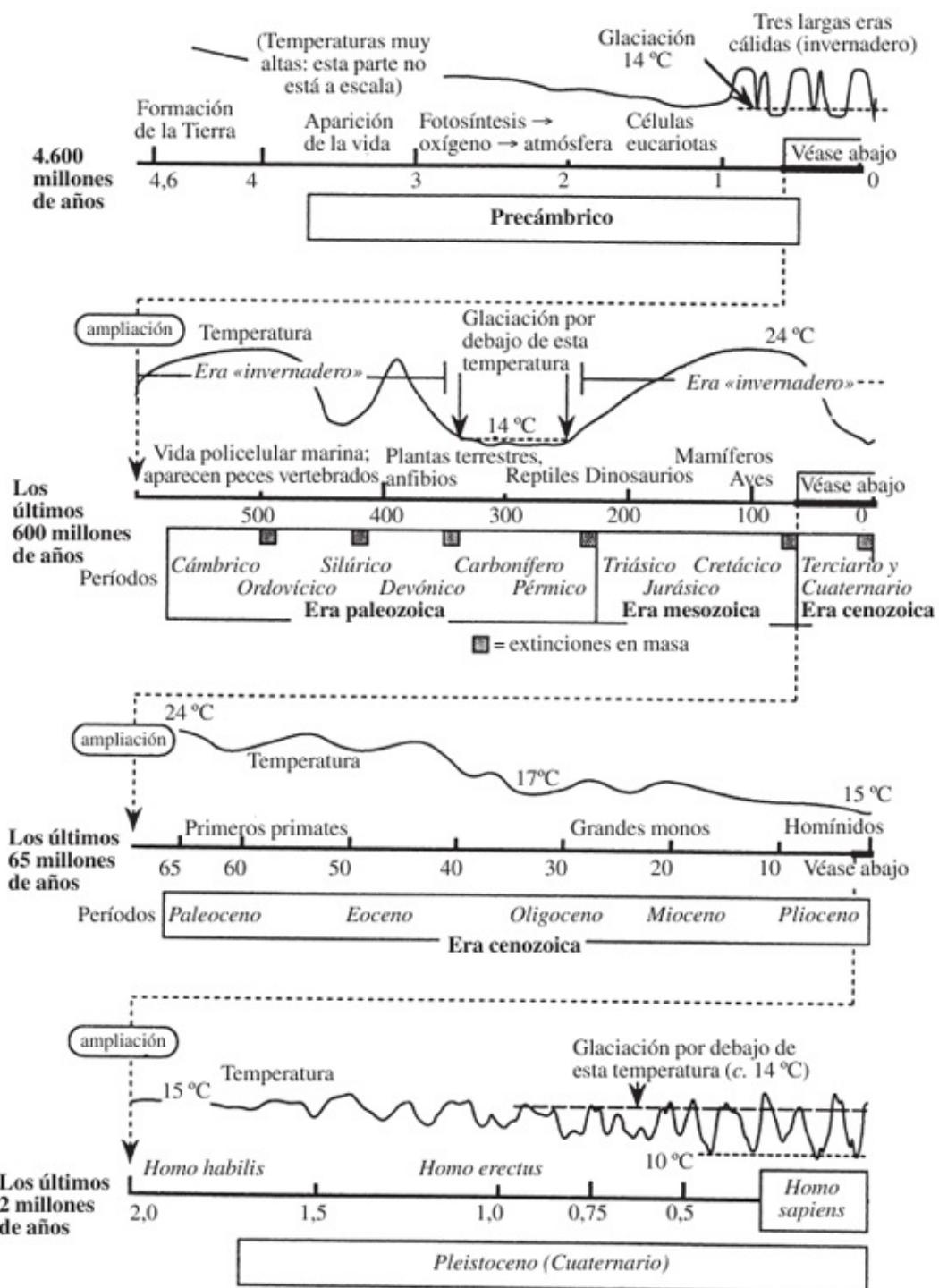
por obra de la tectónica de placas, podría explicar por qué en los últimos 500 millones de años ha habido por lo menos cinco períodos en que la biodiversidad se ha reducido bruscamente, períodos en que quizá desapareció el 75 por 100 de las especies existentes o más. La reducción más catastrófica fue la que se produjo a finales del pérmico, hace unos 250 millones de años, cuando se formó el supercontinente de Pangea. Parece que en este período desapareció más del 95 por 100 de las especies marinas existentes^[45]. La aparición de los primates se produjo durante un período de rápido cambio evolutivo causado tanto por el meteorito de finales del cretácico como por la existencia de una cantidad excepcional de nichos ecológicos disponibles en un mundo geológicamente complejo.

La configuración concreta de los mares y los continentes en un momento dado puede también afectar de un modo profundo a las pautas climáticas. En realidad, nuestra propia especie apareció en un período de cambio ecológico y climático inusualmente rápido. Las temperaturas descendieron durante el mioceno, época que durrió entre 23 y 5,2 millones de años antes del presente. Al reducirse la evaporación marina, el clima se volvió más seco, lo que se tradujo en la reducción del bosque y en la expansión de la estepa y el desierto. Estos cambios se debieron en parte a la reorganización de las masas continentales: el Atlántico se ensanchó, y África y la India se desplazaron hacia el norte y acabaron chocando con Eurasia, la primera con la región occidental, la segunda con la oriental. Cuando el agua ecuatorial puede circular libremente hasta los polos, el clima de la Tierra se mantiene cálido. En nuestra era, la presencia de la Antártida impide que se caliente el Polo Sur, mientras que el cerco continental que hay alrededor del Polo Norte limita los movimientos de las aguas ecuatoriales hacia el norte. Esta combinación, que bloquea la circulación de agua caliente por los polos, podría ser excepcional en la historia del planeta. La tendencia hacia un clima más frío y seco se aceleró en el plioceno (de 5,2 a 1,6 millones de años antes del presente) y en el pleistoceno, la época en que aparecieron nuestros antepasados homíninos. Hace unos 6 millones de años, el Mediterráneo se convirtió en un mar interno, prácticamente cerrado, que retenía alrededor del 6 por 100 de la sal de las aguas planetarias. Al reducirse la concentración salina, los mares restantes se congelaron y el casquete antártico se expandió rápidamente, produciendo una caída brusca de las temperaturas del planeta. Hace entre 3,5 y 2,5 millones de años, empezaron a formarse capas de hielo en el hemisferio norte y en la Antártida y hace 900 000 años se habían formado ya grandes glaciares en el sector más septentrional. El mundo había entrado en la «era de las glaciaciones» (véase la figura 5.2^[46]).

Los especialistas en historia climatológica pueden medir ya los cambios climáticos más recientes con una gran precisión. El oxígeno tiene tres isótopos (esto es, átomos con distinta cantidad de neutrones en el núcleo). Como los glaciares y el agua no absorben la misma cantidad de isótopos, la proporción de los que queden en los mares variará según la cantidad de agua que contengan los hielos. Buscando

organismos fósiles que hayan absorbido oxígeno y midiendo la proporción de isótopos que queda en ellos, los científicos calculan el tamaño y alcance de los glaciares que había en el mundo cuando los organismos analizados estaban vivos. Estos cálculos ponen de manifiesto que dentro de la tendencia general al enfriamiento ha habido ciclos breves de períodos más cálidos y más fríos. La aparición de estos períodos se debe, entre otras cosas, a ciertos cambios periódicos que se producen en la inclinación y la órbita de la Tierra. Hoy se sabe que la frecuencia de estos ciclos breves ha cambiado en los últimos 5 millones de años. Hasta hace 2,8 millones de años, un ciclo completo, es decir, un período interglacial cálido más un período glacial más largo y otro período interglacial, duraba alrededor de 40 000 años. Desde entonces hasta hace 1 millón de años duraron alrededor de 70 000, y en el último millón de años, los ciclos más típicos han durado alrededor de 100 000^[47]. La pauta actual parece que consiste en breves interglaciaciones, o períodos cálidos, que duran unos 100 000 años, y períodos fríos mucho más largos, con episodios muy fríos inmediatamente antes de las rápidas transiciones a la siguiente interglaciación. La glaciaciación más reciente empezó hace unos 100 000 años y duró unos 90 000. Así pues, la Tierra, en los últimos 10 000 años, ha estado en una fase cálida e interglacial del ciclo.

En el estudio de la aparición de los homíninos, lo que importa de los enfriamientos planetarios de larga duración y de los ciclos breves y cálidos es que crearon unas condiciones ecológicas inestables. Todos los organismos terrestres tuvieron que adaptarse a los cambios periódicos del clima y la vegetación, y es indudable que esta necesidad aceleró el ritmo del cambio evolutivo. Los humanos actuales son resultado de este período de cambio acelerado.



LAS ESPECIES CONCRETAS Y SU HISTORIA

Actualmente hay en la Tierra entre 10 y 100 millones de especies. Cada una consta de muchos organismos particulares que en principio pueden reproducirse entre sí. Las especies pueden dividirse en poblaciones regionales, separadas geográficamente. Componen una *población* los miembros de una especie que se comunican y reproducen entre sí de manera efectiva, en tanto que la especie está compuesta por todos los individuos cuya semejanza biológica les permite reproducirse, aunque en la práctica unos lo hagan y otros no.

El resto del presente libro se concentrará en la historia de una sola especie, la nuestra. Pero antes sería conveniente describir los rasgos más generales de las historias de las especies. Desde la época de Darwin sabemos que las especies no son eternas. Surgen de otra especie; viven, a veces durante millones de años; luego se extinguen o evolucionan y se convierten en otra especie o en varias. En este sentido, cada especie tiene su propia historia, aunque la mayoría no se escribirá nunca. Durante su existencia, las especies pueden sufrir cambios menores de muchas clases. Podrían aparecer variantes regionales, aunque los biólogos seguirán incluyendo a los individuos en una sola especie mientras puedan reproducirse entre sí y tener descendientes fértiles. Por ejemplo, todas las razas de perros actuales pueden reproducirse entre sí, por mucho que se diferencien en la forma, el tamaño y el carácter (que son resultado de la selección artificial). Por este motivo los perros domésticos se consideran miembros de una sola especie biológica.

En términos generales podemos describir la historia de una especie desde el punto de vista de su población. Si una especie nueva consigue establecerse, entonces es que ha encontrado un nicho entre otras especies, un medio de extraer del entorno recursos suficientes para que los miembros de la especie recién instalada puedan sobrevivir y reproducirse. Las emigraciones a otras zonas, o las pequeñas innovaciones en el estilo de vida o en la dotación genética, podrían capacitar a la especie para ampliar el nicho, incluso para explotar otros nichos u otras regiones. Cuando sucede esto, es probable que la población crezca. Y el crecimiento suele seguir una pauta característica que podría resumirse con la siguiente fórmula: innovación, crecimiento, sobreexplotación, reducción y estabilización (ICSRE^[48]). La primera innovación conduce a un rápido crecimiento demográfico. Con el paso del tiempo se reproducen demasiados individuos, hasta que por lo menos un recurso fundamental (la comida, el agua, el espacio) se vuelve tan escaso que es imposible crecer más^[49]. Es la etapa de la sobreexplotación. Le sigue una reducción demográfica a veces catastrófica, cuya brusquedad puede mitigarse, sin embargo, si el crecimiento demográfico se ha frenado al alcanzar la especie el máximo nivel sostenible. Al final, las poblaciones podrían volver a crecer conforme la especie se adapta con sutileza a las oportunidades y limitaciones del entorno y llega a la etapa de estabilización. Una especie concreta puede reiniciar este ciclo muchas veces en toda su historia. Pero al final se llegará al momento en que tras una fase de reducción no vendrá otra de estabilización, o porque el entorno haya cambiado o porque otras especies lo hayan modificado con resultados

mortales. La especie se extinguirá, aunque podría dejar descendientes con suficientes diferencias para que se les considere de otra especie.

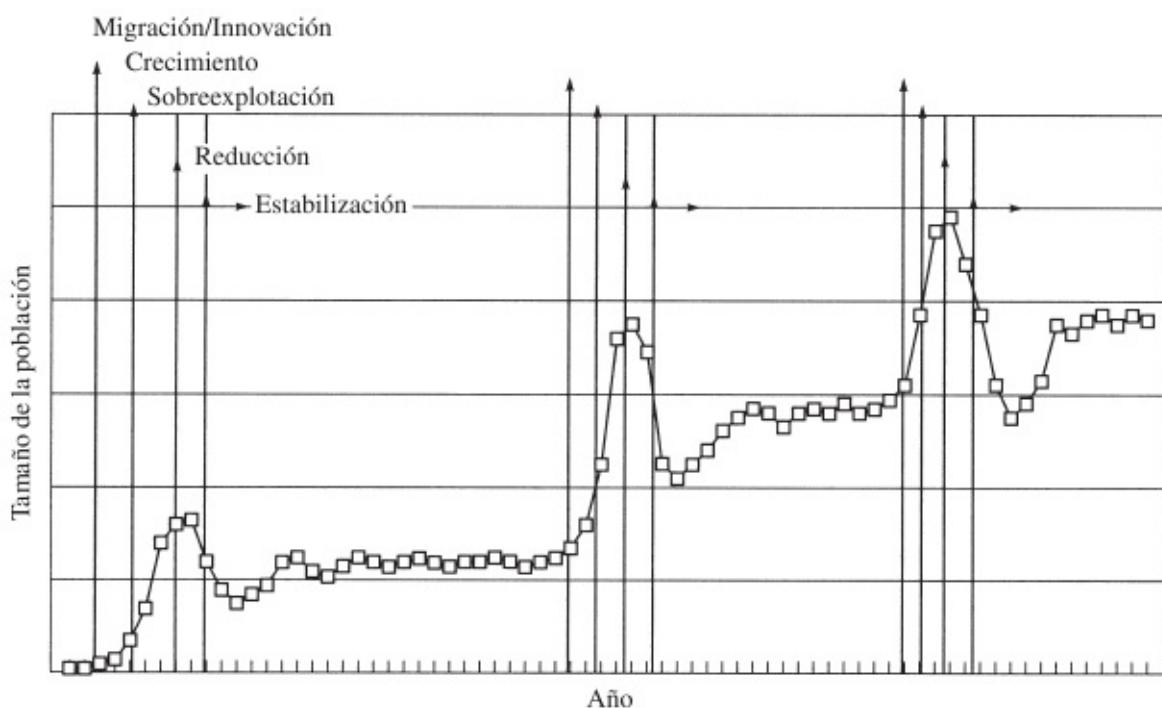


FIGURA 5.3. Ritmo básico del crecimiento demográfico. Representación esquemática de las pautas típicas del crecimiento demográfico. Con el tiempo, para la mayoría de las especies, la dinámica finaliza con un período de reducción que conduce a la extinción.

Este ritmo se describe gráficamente en la figura 5.3, que desglosa el crecimiento demográfico de una especie imaginaria. Permite describir el ritmo característico de la historia de una especie y de sus relaciones con otras especies y con la biosfera en general. También nos da algunas ideas que podrían servirnos para identificar algunas de las semejanzas y diferencias más importantes entre nuestra historia y la de otras especies.

RESUMEN

Los procesos evolutivos, en el curso de casi 4000 millones de años, han generado toda la diversidad biológica que vemos actualmente en la Tierra. En realidad, las especies que viven hoy son sólo una pequeña muestra de la cantidad total de especies que han aparecido desde el origen de la vida en la Tierra.

La vida, durante más de 3000 millones de años, estuvo reducida a organismos unicelulares. Sin embargo, incluso en el mundo de las bacterias había cambios. Las células adquirieron la facultad de procurarse energía de la luz solar y al final del oxígeno. Las células eucariotas desarrollaron orgánulos internos. Y hace alrededor de 600 millones de años, algunas células se unieron y formaron organismos policelulares, los primeros organismos no microscópicos que aparecían en la Tierra.

Después de la explosión cámbrica aparecieron los árboles, las flores, los peces, los anfibios, los reptiles y los primates. Es posible que otros experimentos evolutivos prosperaran y luego desapareciesen sin dejar rastro.

Conforme evolucionaba la vida, evolucionaba el planeta y los dos procesos se interrelacionaron en muchos momentos. Los organismos vivos produjeron rocas carboníferas y una atmósfera fecunda en oxígeno. Al mismo tiempo, los procesos de la tectónica de placas formaban y reformaban lentamente la superficie de la Tierra y sus modelos climatológicos de tal manera que aceleraban o frenaban la velocidad del cambio evolutivo, aunque los acontecimientos violentos como la caída de meteoritos y las erupciones volcánicas desviaban ocasionalmente la trayectoria de la evolución en regiones localizadas. La biosfera y la Tierra han evolucionado juntas como partes de un complejo sistema interrelacionado.

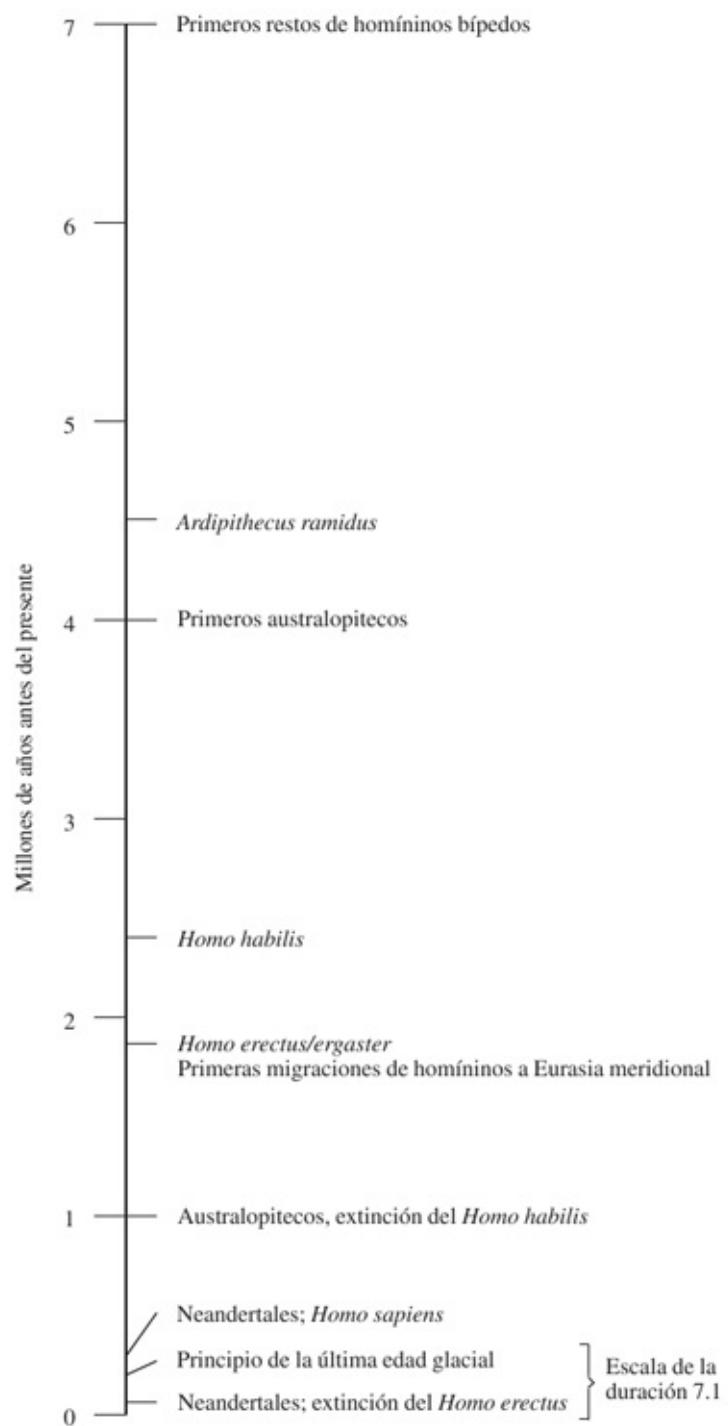
Dentro de este sistema en cambio incesante, las unidades biológicas básicas son las especies concretas. Cada una tiene su historia propia, regida por las relaciones con otras especies. La historia de cada especie está determinada sobre todo por el nicho concreto de la especie en cuestión, por su forma de extraer recursos (incluida la comida) del medio. Con el tiempo, el nicho de la especie podría alterarse de manera más o menos perceptible y las alteraciones podrían afectar a la población. La historia de cada especie está determinada en buena medida por estas fluctuaciones numéricas, que a su vez dependen de los cambios del medio y de la forma de explotarlo cada especie. Las poblaciones cambian siguiendo unas pautas características cuya observación es una forma de estudiar la historia de las especies vivas en general y la de la nuestra en particular.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

A pesar de su título, *The Origins of Life* (1999, trad. cast. *Ocho hitos de la evolución*) de John Maynard Smith y Eörs Szathmáry es una historia de la vida en la Tierra, elaborada alrededor de la idea de la evolución de la complejidad. *La historia más bella del mundo* (1997), de Hubert Reeves y otros, recorre temas parecidos. En *La grandeza de la vida* (1996), Stephen Jay Gould critica la idea de que la vida se haya vuelto más compleja con el tiempo, mientras que en *La vida maravillosa* (1989) hace hincapié en la naturaleza accidental de la evolución. *The Search for Life on Mars* (1999) de Malcolm Walter es muy útil a propósito de los primeros indicios fósiles de la vida en la Tierra. En *Our Cosmic Origins* (1998) de Armand Delsemme hay un breve resumen de la historia de la vida en la Tierra y otro más extenso en *La vida: una biografía no autorizada* (1998) de Richard Fortey y en *Earth and Life Through Time* (1986) de Steven Stanley. Lynn Margulis y Dorion Sagan nos recuerdan la importancia de la vida bacteriana en *Microcosmos* (1987) y en *¿Qué es la vida?* (1995); y los escritos de James Lovelock subrayan el papel decisivo de las

bacterias en la regulación del entorno de *Gaia*. *The Machinery of Nature* (1986) de Paul Ehrlich es una buena introducción a los temas ecológicos. *The Future Eaters* (1995) y *The Eternal Frontier* (2001) de Tim Flannery presentan soberbias historias ecológicas de las regiones australiana y norteamericana, siguiendo escalas de tiempo geológicas.

Tercera parte
COMIENZO DE LA HISTORIA HUMANA
MUCHOS MUNDOS



DURACIÓN 6.1. Escala de la evolución humana: 7 millones de años.

Capítulo 6

LA APARICIÓN DE LOS HUMANOS

El resto del presente libro se ocupará sobre todo de la historia de una sola especie, *Homo sapiens*. Hay dos razones para concentrar tanto el enfoque. La primera es que todos —el autor y los lectores de este libro— pertenecemos a esa especie. Para conocernos tenemos que conocer la historia de *Homo sapiens*. La otra razón, menos tangible y menos localista, es que la historia de nuestra especie es significativa a escalas asombrosamente grandes.

Cuando queremos explicar la aparición de los seres humanos, estamos una vez más ante la paradoja del origen. ¿Cómo puede aparecer algo realmente distinto? Somos animales, evolucionamos según las reglas darwinianas como cualquier otro organismo vivo y nos parecemos mucho a otras especies estrechamente emparentadas con nosotros, como los grandes monos. Sin embargo, somos al mismo tiempo radicalmente distintos incluso de nuestros parientes más cercanos. De un modo u otro, nuestra especie ha ido más allá de las reglas darwinianas. De aquí que nuestra influencia en la Tierra haya sido mucho mayor que la de cualquier otro organismo grande.

¿Podemos explicar lo que nos vincula a otros animales y lo que nos separa de ellos?

LA HISTORIA HUMANA: UN NUEVO NIVEL DE COMPLEJIDAD

Ya hemos visto transiciones parecidas. La historia humana representa la aparición repentina e inesperada de un nuevo nivel de complejidad, como lo representaron la aparición de las primeras estrellas, la de la vida en la Tierra y la de los organismos policelulares. Hemos visto que las entidades complejas son más escasas que las menos complejas, más frágiles y, como tienen que subir más aprisa por la escalera de bajada de la entropía (véase el apéndice 2), tienen que administrar flujos de energía más densos. Hemos visto también que las transiciones a la mayor complejidad se producen con la aparición de formas nuevas de interdependencia, conforme las entidades existentes hasta entonces con mayor o menor independencia se organizan en estructuras nuevas y más grandes. Por último, hemos visto que cuando aparecen nuevos niveles de complejidad, parecen funcionar de acuerdo con reglas nuevas (las «propiedades emergentes», en el lenguaje de la teoría de la complejidad).

La historia humana señala asimismo la aparición de un nuevo nivel de complejidad en la Tierra^[1]. Como en transiciones anteriores, la historia humana relaciona entidades antaño independientes en cuadros de interdependencia más

grandes; y este proceso está relacionado con flujos mayores de energía que tienen un profundo efecto transformador. Podemos medir algunos cambios desde la perspectiva del siglo xx. Los humanos, al actuar juntos, han aprendido a administrar flujos de energía crecientes. Aunque las espectaculares consecuencias de estos cambios sólo han podido apreciarse en los dos últimos siglos, sus raíces se encuentran en el Paleolítico o «era de la industria lítica antigua^[2]».

La tabla 6.1 muestra cómo han aprendido los humanos a extraer del medio más energía de la que necesitan para sobrevivir y reproducirse. Han puesto de manifiesto una capacidad totalmente desconocida hasta entonces para las «innovaciones ecológicas». Desde el principio de la historia humana las habilidades como la administración del fuego han aumentado la cantidad de energía disponible por individuo. En los últimos 10 000 años, la agricultura ha aumentado la energía alimentaria que los humanos pueden extraer de un área dada, mientras que la domesticación de herbívoros en los últimos 6000 años ha aumentado también la cantidad de energía disponible para la fuerza de tracción. El empleo de combustibles fósiles en los dos últimos siglos ha multiplicado el uso de energía por individuo. Como la cantidad total de humanos ha aumentado igualmente (unos cientos de miles en el Paleolítico, unos millones hace 10 000 años y más de 6000 millones en la actualidad [véase la figura 6.1], la cantidad total de energía que nuestra especie domina se ha multiplicado por lo menos por 50 000. Para estar bajo el dominio de una sola especie es una cantidad de energía impresionante y contribuye a explicar por qué nuestra especie ha influido tanto en toda la biosfera. Una forma eficaz de medir esta influencia es calcular cuánta energía aportada a la biosfera por la luz solar es absorbida para uso humano. Se llama productividad primaria neta PPN) a la parte de energía solar que entra en la cadena alimentaria a través de la fotosíntesis y se convierte en materia vegetal. Esta materia, a su vez, alimenta a muchísimos organismos. Así pues, la PPN puede utilizarse como muestra aproximativa de los «ingresos» energéticos de la biosfera. Los cálculos más recientes dan a entender que nuestra especie se queda, para su propio uso, entre el 25 y el 40 por 100 de toda la PPN disponible para las especies terrestres. Paul Ehrlich resume la historia que revelan estas asombrosas cifras: «Entre los muchos millones de especies que han existido, sólo una, *Homo sapiens*, se queda hoy con la cuarta parte de todos los derivados de la fotosíntesis^[3]».

TABLA 6.1. CONSUMO DE ENERGÍA PER CÁPITA EN LA HISTORIA HUMANA. (UNIDADES DE ENERGÍA = 1000 CALORÍAS DIARIAS)

	<i>Comida (incl. ali- mentación animal)</i>	<i>Casa y comercio</i>	<i>Industria y agricul- tura</i>	<i>Trans- porte</i>	<i>Total per cápita</i>	<i>Pobla- ción mundial (mill.)</i>	<i>Total</i>
Soc. tecno. (actual)	10	66	91	63	230	6.000	1.380.000
Soc. indust. (1850 d.C.)	7	32	24	14	77	1.600	123.200
Agric. avanz. (1000 d.C.)	6	12	7	1	26	250	6.500
Agric. prim. (5000 a.C.)	4	4	4		12	50	600
Cazadores (10.000 a.C.)	3	2			5	6	30
Protohumanos	2				2	inapre- ciable	inapre- ciable

FUENTE: I. G. Simmons, *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*, Blackwell, Oxford, 1996², p. 27.

El creciente dominio humano de la energía ha determinado la historia de los humanos y de muchas otras especies. Ha permitido que los humanos se multipliquen a ritmo creciente. Las tablas 6.2 y 6.3 y la figura 6.1 resumen el crecimiento demográfico humano durante los últimos 100 000 años. Conforme crecía el contingente humano, aumentaba el ámbito ecológico de la especie; hace 10 000 años, y quizá desde 20 000 años antes, ya había humanos en todos los continentes, exceptuando la Antártida. En el Paleolítico, la historia humana se caracterizó sobre todo por la ampliación geográfica de la colonización. En los últimos 10 000 años, el principal determinante de la evolución social humana ha sido, en cambio, la creciente *densidad* de la colonización, ya que los humanos han aprendido a vivir en comunidades de tamaño creciente: aldeas, pueblos, ciudades, estados.

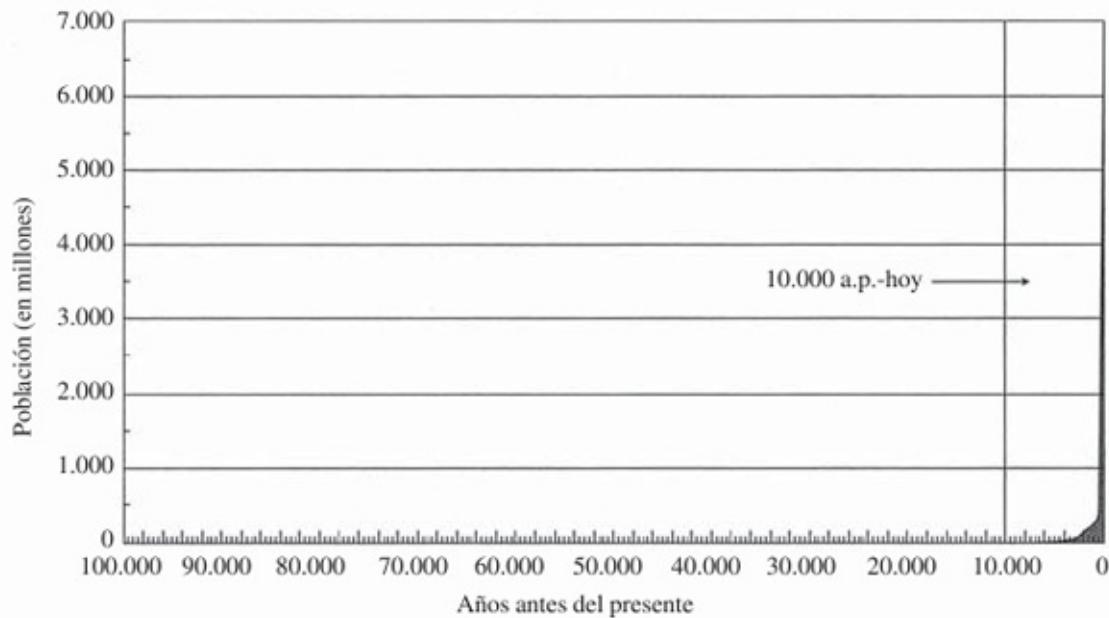


FIGURA 6.1. Poblaciones de *Homo sapiens*, entre 100 000 a. p. (antes del presente) y la actualidad. Basada en la tabla 6.2.

Por definición, los recursos que utilizan los humanos no están al alcance de otras especies. Así, mientras las cifras humanas han ido en aumento, otras especies han pasado apuros. Los animales domésticos como las ovejas y las vacas, y los domésticos no deseados como las cucarachas y las ratas, se han multiplicado. Pero hay muchas otras especies a las que no les ha ido tan bien, y es alarmante la cantidad de las desaparecidas. Este proceso comenzó también en el Paleolítico, período en el que la actividad humana contribuyó a acelerar la extinción de parientes próximos como los neandertales y de otras especies mayores, como los mamutes de Siberia, los caballos y perezosos gigantes de América, y los uombates y canguros gigantes de Australia. En la actualidad se ha acelerado el ritmo de extinciones causadas por las actividades humanas. Hoy se cree que están «amenazadas» 1096 especies de mamíferos (de las 4629 que se conocen, lo que supone el 24 por 100), así como 1107 especies de aves (el 11 por 100 de las 9627 existentes), 253 especies de reptiles (el 4 por 100 de las 6900 existentes), 124 especies de anfibios (el 3 por 100 de las 4522 existentes), 734 especies de peces (el 3 por 100 de las 25 000 existentes) y 25 971 especies de vegetales superiores (el 10 por 100 de las 270 000 existentes^[4]). Y como el ritmo de las extinciones se acelera, es previsible que desaparezcan muchas más en el futuro inmediato. Estas cifras nos permiten ver el extraordinario alcance del impacto planetario producido por la historia humana, ya que los paleontólogos han investigado los índices de extinción de buena parte de los últimos 600 millones de años y las cifras actuales se parecen a las de las cinco o seis épocas más catastróficas que han ocurrido desde entonces^[5]. Esto significa que el impacto de la historia humana puede percibirse en escalas de mil millones de años por lo menos. En otras palabras, si un equipo de paleontólogos interestelares llegara a la Tierra dentro de mil millones de años y quisiera descifrar la historia del planeta sirviéndose de los

instrumentos de los paleontólogos humanos actuales, localizaría un período de grandes extinciones que coincidiría con la presencia de nuestra especie.

TABLA 6.2. POBLACIÓN MUNDIAL Y TASAS DE CRECIMIENTO. DE 100 000 A. P. A LA ACTUALIDAD.

<i>Años a.p.</i>	<i>Población mundial estimada</i>	<i>Tasa de crecimiento por siglo desde la fecha anterior (%)</i>	<i>Tiempo de duplicación implícito (años)</i>	<i>Fuente de las cifras</i>
100.000	10.000	—	—	Stringer, 150
30.000	500.000	0,56	12.403	Livi-Bacci, 31
10.000	6.000.000	1,25	5.580	Livi-Bacci, 31
5.000	50.000.000	4,33	1.635	Biraben
3.000	120.000.000	4,47	1.583	Biraben
2.000	250.000.000	7,62	944	Livi-Bacci, 31
1.000	250.000.000	0,00	∞	Livi-Bacci, 31
800	400.000.000	26,49	295	Livi-Bacci, 31
600	375.000.000	-3,18	inapreciable	Livi-Bacci, 31
400	578.000.000	24,15	320	Livi-Bacci, 31
300	680.000.000	17,65	427	Livi-Bacci, 31
200	954.000.000	40,29	205	Livi-Bacci, 31
100	1.634.000.000	71,28	129	Livi-Bacci, 31
50	2.530.000.000	139,74	79	Livi-Bacci, 31
0	6.000.000.000	462,42	40	Livi-Bacci, 31

FUENTES: J. R. Biraben, «Essai sur l'évolution du nombre des hommes», *Population* 34 (1979), pp. 13-25; Massimo Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, Blackwell, Oxford, 1992, trad. de Carl Ipsen; y Chris Stringer y Robin McKie, *African Exodus*, Cape, Londres, 1996.

TABLA 6.3. TASAS DE CRECIMIENTO EN DIFERENTES ÉPOCAS.

Era	Comienzo (años a.p.)	Final (años a.p.)	Población inicial (millones)	Población al final (millones)	Tasa de crecimiento por siglo (%)	Tiempo de duplicación implícito (años)
Pal. Tardío	100.000	10.000	0,01	6	0,71	9.752
Pal. Med.	100.000	30.000	0,01	0,5	0,56	12.403
Pal. Sup.	30.000	10.000	0,5	6	1,25	5.579
Agrícola	10.000	1.000	6	250	4,23	1.673
Agr. Temprana	10.000	5.000	6	50	4,33	1.635
Agr. civ.	5.000	1.000	50	250	4,11	1.723
Exc. 1 ^{er} mil.	5.000	2.000	50	250	5,51	1.292
Moderna	1.000	0	250	6.000	37,41	218
Temprana	1.000	200	250	950	18,16	415
Industrial	200	0	950	6.000	151,31	75

FUENTE: Tabla 6.2.

Estas cifras nos sirven además para medir la singularidad de la historia humana. Ninguna otra especie superior se ha multiplicado como la humana, ni ocupado tanto espacio, ni controlado tantos recursos ecológicos. (También aquí, las posibles excepciones son especies como las vacas y los conejos, que se han multiplicado integradas en el equipo ecológico humano). Nuestra historia es radicalmente distinta incluso de la de nuestros parientes más cercanos, los chimpancés. Aunque se nos parecen muchísimo a nivel genético, físico, social e intelectual, no tenemos pruebas de que en los últimos 100 000 años haya habido cambios significativos en su volumen demográfico, en la amplitud de su territorio ni en su tecnología. En realidad, ésta es la razón por la que puede hablarse de una historia humana, mientras que la sola idea de que los chimpancés tengan historia se nos antoja un poco extravagante. La mayoría de las especies animales carece de historia, en el sentido que damos habitualmente a este concepto; una vez que aparecen, tienden a quedarse en el nicho original hasta que desaparecen del registro fósil. De las familias y los órdenes, como los dinosaurios y los mamíferos, sí puede decirse que tienen historia, porque en el seno de estos grupos hay especies que pueden evolucionar de muchas maneras y hacer que cambien la demografía, la geografía y la «tecnología» ecológica de familias enteras. En términos generales, sin embargo, no puede decirse lo mismo de las especies. Los humanos han multiplicado y diversificado su comportamiento de un

modo que no es característico de las especies individuales, sino de familias enteras e incluso de órdenes; y lo han hecho en un tiempo asombrosamente breve.

Es evidente que con la aparición de nuestra especie se cruzó alguna clase de umbral. La historia humana señala la aparición de leyes nuevas para el cambio histórico. Así pues, no nos centramos en la historia humana sólo por vanidad genealógica. La aparición de nuestra especie representa un importante punto de inflexión en la historia del planeta. Como ha dicho A. J. McMichael: «Cada especie es un experimento de la naturaleza. Sólo un experimento, *Homo sapiens*, ha evolucionado de tal modo que ha podido complementar su adaptación biológica con la capacidad de acumular adaptación cultural. Esta insólita combinación entre la habitual tendencia biológica al beneficio a corto plazo (comida, territorio y comercio sexual) y la capacidad intelectual para satisfacer aquella tendencia mediante prácticas culturales de complejidad creciente es lo que vuelve único el “experimento” humano^[6]».

EXPLICAR LA APARICIÓN DE LOS HUMANOS

Se han propuesto muchos «primeros motores» para explicar la transición a la humanidad. Unos han dicho que fue la bipedación, que dejó las extremidades superiores libres para fabricar herramientas (la solución preferida de Darwin), otros que la caza y la dieta carnívora, otros que el tamaño del encéfalo y otros que el lenguaje. La explicación que sigue se centra en la importancia del lenguaje, pero asigna un papel complementario a otros factores.

En los párrafos anteriores hay ya una explicación más o menos abstracta. Todas las especies se adaptan a su medio, pero pocas tienen más de un par de estrategias adaptativas. En cambio, se diría que los humanos no dejan de inventar estrategias ecológicas, formas nuevas de extraer recursos del medio. En la jerga de los economistas, los humanos tienen muy desarrollada la capacidad de «innovación». Y han innovado no sólo a la escala darwiniana de cientos de miles o millones de años, sino a una escala que va de los milenios a las décadas y tiempos más breves. El problema es explicar cómo, cuándo y por qué adquirieron los humanos este nivel inédito de creatividad ecológica. Si somos capaces de dar cuenta de la optimización de esta capacidad, habremos recorrido mucho trecho en la explicación de la excepcionalidad de la historia humana.

Hemos visto que la aparición de formas nuevas de complejidad entraña siempre la formación de grandes estructuras en las que las entidades antes independientes se encuadran en nuevas formas de interdependencia y nuevas normas de cooperación^[7]. Siguiendo esta pista, lo lógico sería llegar a la conclusión de que la transición a la historia humana se caracteriza en primer lugar no por un cambio en la naturaleza de los humanos en tanto que individuos, sino más bien por un cambio en sus relaciones.

Esto nos da a entender que debemos concentrarnos no sólo en los cambios producidos en los genes, la fisiología y el encéfalo de los humanos anteriores, sino también en los cambios producidos en las modalidades de interrelación de nuestros antepasados.

Al igual que en otras transiciones equivalentes, la aparición de nuestra especie fue repentina. A escala paleontológica, fue casi un acontecimiento instantáneo. Esto quiere decir que lo lógico sería esperar un solo factor desencadenante. En la formación de las estrellas, la temperatura sube durante períodos larguísimos, hasta que de súbito se dispara el factor desencadenante y el hidrógeno empieza a fusionarse. Lo mismo sucede en la evolución humana: habilidades adaptativas que a lo mejor se han estado formando durante millones de años se transforman de pronto y se cruza un umbral. ¿Cómo podría describirse este umbral? Es indudable que tiene algo que ver con el desarrollo de la capacidad de aprender. Muchos animales aprenden, desde los gusanos hasta los sapos. Pero casi todo lo que aprende la mayoría de los animales desaparece cuando mueren los individuos. Evidentemente, se practica la enseñanza hasta cierto punto. Las madres chimpancés enseñan a sus crías a partir nueces o a cazar termitas, y lo hacen con ejemplos prácticos. Estas crías, con el tiempo, podrán enseñar a sus propios descendientes. Pero no conocemos ningún animal capacitado para describir actos en abstracto, ninguno que sepa explicar cómo se pesca sin representar los gestos de la pesca ni indicar un camino sin recorrerlo; y, desde luego, no sabemos de ninguno capaz de describir entidades abstractas, como dioses, quarks o elefantes de color rosa. El pasado y el futuro también son abstracciones, porque sólo el presente se experimenta de manera directa; en consecuencia, los animales que carecen de lenguaje simbólico podrían carecer de la capacidad humana para recordar intencionadamente el pasado e imaginar el futuro. Son limitaciones muy serias. La primatóloga Shirley Strum estuvo investigando durante años a un grupo de papiones de Kenia al que denominó «Banda de la bomba de agua». En comparación con otros grupos, eran cazadores de primera; solían comer carne todos los días. Pero cazaban con más eficacia cuando los capitaneaba un macho concreto. Y cuando el macho desapareció, no supieron conservar sus habilidades o su conocimiento^[18].

El lenguaje humano permite transmitir conocimientos, de cerebro a cerebro, con más precisión y eficacia. Esto significa que los humanos pueden compartir información segura, creando un fondo común de conocimientos ecológicos y técnicos, lo cual significa a su vez que, para los humanos, los beneficios de la cooperación tienden de manera creciente a superar los beneficios de la competencia. (John Mears ha calificado a los humanos de «criaturas altamente interconectadas»)^[19]. Además, el conocimiento ecológico aportado al fondo común por cada individuo puede perdurar después de la muerte de éste. Así pues, el conocimiento y las habilidades se pueden acumular de generación en generación por vía no genética y cada individuo tiene acceso al conocimiento de muchas generaciones anteriores. Por consiguiente, lo distintivo de los humanos es que pueden aprender *colectivamente*. El

pensamiento celular (el pensamiento que se concentra en el individuo) impide verlo con claridad, pero para explicar esta singularidad de los humanos no debemos comparar a los chimpancés individuales con los individuos humanos (cuyas diferencias son notables pero no transformativas), sino con los *grupos* humanos. No entenderemos la diferencia si comparamos cerebros humanos con cerebros de chimpancés; sólo empezaremos a comprenderlo si comparamos los cerebros de los chimpancés con los gigantescos cerebros colectivos creados por los humanos en el curso de muchas generaciones.

La posibilidad de aprender *colectivamente* lo cambia todo. McMichael ha dicho:

El advenimiento de la cultura acumulativa es un acontecimiento sin precedentes en la naturaleza. Funciona como el interés compuesto, permitiendo a las sucesivas generaciones partir de un punto cada vez más avanzado en el camino del desarrollo cultural y tecnológico. Por seguir ese camino, la especie humana en general se ha distanciado de manera creciente de sus raíces ecológicas. La transmisión de conocimientos, ideas y técnicas entre generaciones ha dado a los humanos una capacidad añadida, también sin precedentes, para sobrevivir en medios hostiles y para crear medios nuevos que satisfagan sus necesidades y deseos inmediatos^[10].

El aprendizaje colectivo es lo que da a los humanos una historia, porque viene a deciros que las habilidades ecológicas disponibles para los humanos han cambiado con el tiempo. Y en este proceso hay un claro sentido de la dirección. Con el paso del tiempo, los procesos del aprendizaje colectivo garantizan que los humanos como especie se desenvolverán mejor extrayendo recursos del medio y sus crecientes habilidades ecológicas garantizan que, con el tiempo, aumentarán las poblaciones humanas. Las generalizaciones sobre el aprendizaje colectivo no pueden predecir, como es lógico, la cronología o la geografía de estos procesos, ni hasta dónde es probable que lleguen, ni sus consecuencias detalladas; en cambio, pueden deciros algo sobre la forma de la historia humana a largo plazo en las escalas temporales grandes.

Para hacernos una idea de la capacidad del aprendizaje colectivo, basta imaginar cómo sería la vida si nuestro aprendizaje tuviera que partir de cero y de nuestra familia o comunidad recibiéramos poco más que un puñado de indicaciones sobre el comportamiento social conveniente y sobre las costumbres alimenticias, que es más o menos el bagaje intelectual que heredan los chimpancés jóvenes. ¿Cuántos utensilios como los que nos rodean (cada uno de los cuales encarna una cantidad de conocimiento almacenado) seríamos capaces de inventar o fabricar antes de morirnos? Estas preguntas sirven para que recordemos hasta qué punto depende nuestra vida individual del conocimiento acumulado por millones de semejantes nuestros que han pertenecido a muchas generaciones. Los humanos actuales, tomados individualmente, no somos mucho más inteligentes que los chimpancés o los neandertales; pero como especie somos muchísimo más creativos, porque intercambiamos conocimientos entre los miembros de una misma generación y entre las generaciones. En términos generales, el aprendizaje colectivo es un mecanismo

adaptativo tan poderoso que podría decirse que en la historia humana desempeña un papel equivalente al de la selección natural en la historia de otros organismos.

¿Por qué los humanos aprenden colectivamente? A causa de la naturaleza característica del lenguaje humano. El lenguaje humano es más «abierto» que las formas no humanas de comunicación. Está abierto a nivel gramatical porque sus leyes nos permiten generar una cantidad casi infinita de significados con una pequeña cantidad de elementos como las palabras. También está abierto a nivel semántico —es decir, puede transmitir un creciente caudal de significados— porque no se limita a remitirse a lo que se ve, sino que abarca también entidades que no están presentes, incluso entidades que nunca estarán presentes. Gracias a los símbolos podemos concentrar grandes cantidades de información que se almacenan en la memoria en unidades; con estas unidades simbólicas podemos construir luego estructuras conceptuales mayores aún. Los símbolos nos capacitan para hacer abstracción de las cosas concretas, para remitirnos, por decirlo de algún modo, a la depurada «esencia» de lo que nos rodea. También se pueden remitir a otros símbolos. Así pues, pueden condensar y almacenar grandes cantidades de información, del mismo modo que esas fichas simbólicas que llamamos *dinero* son un medio compacto y eficiente de almacenar e intercambiar valores abstractos^[11]. Los lenguajes simbólicos nos permiten almacenar y compartir información que puede haberse acumulado durante miles o millones de generaciones. En general, el lenguaje simbólico es un motor de datos muchísimo más potente que todas las formas de comunicación presimbólica. Como ha señalado Terrence Deacon, las formas presimbólicas de comunicación «sólo pueden remitirse a una cosa en virtud de un vínculo como el de la parte concreta con el todo, aunque no haya más base que las coincidencias normales. Hay un vasto universo de objetos y relaciones susceptibles de representación no simbólica, en realidad todo aquello que pueda presentarse a los sentidos, pero no los objetos de referencia abstractos o en cierto modo intangibles^[12]».

Si este argumento va por buen camino, entonces nos está diciendo que para comprender la evolución de los humanos actuales hay que explicar la aparición del lenguaje simbólico. Pero hay que tener presente que no hubo nada inevitable en el proceso. A diferencia de la formación de las estrellas, que, habida cuenta de lo que sabemos sobre la gravedad y las fuerzas nucleares fuerte y débil, fue estadísticamente previsible, el cambio biológico es más aleatorio e impredecible, motivo por el que los organismos vivos son más variados que las estrellas. Los elementos que al final se combinaron en nuestra especie llegaron por casualidad y sin proponérselo, y en ningún momento hubo ninguna seguridad de que se organizarían de tal o cual modo concreto. Hace 100 000 años, cuando nuestra especie llevaba ya mucho trecho recorrido, la población humana quedó reducida a 10 000 adultos, lo que significa que nuestra especie estuvo tan cerca de la extinción como actualmente lo están los gorilas montaraces^[13]. Esta estadística nos recuerda no sólo que los procesos evolutivos son

aleatorios, sino también que las entidades complejas son frágiles. La aparición de los humanos en la Tierra se debió a la más pura casualidad.

TESTIMONIOS Y ARGUMENTOS PARA LA HISTORIA DE LA APARICIÓN DE LOS HUMANOS

Elaborar una versión coherente y convincente de la aparición de la especie humana ha sido una de las grandes hazañas de la ciencia en el siglo xx. Pero ¿cómo se ha construido esta historia? Antes de mirarla más detalladamente, examinemos los testimonios y los argumentos que se han empleado para ensamblarla.

Los testimonios fósiles comprenden los huesos de especies anteriores y el material que dejaron a su paso: herramientas, restos de comida y marcas que hacían en huesos o piedras. Los paleontólogos actuales son capaces de extraer mucha información de un hueso. Una mandíbula sirve para algo más que para identificar una especie; la forma de la dentadura nos informa de la dieta habitual del individuo y este dato nos indica a su vez en qué medio vivía y cómo lo explotaba. Un cráneo nos da información sobre la capacidad intelectual de una especie. Y la parte inferior del mismo nos puede aclarar a menudo si la especie era bípeda o cuadrúpeda, ya que la columna se engarza por debajo del cráneo en los animales bípedos, pero en los cuadrúpedos se engarza por detrás. Un hueso del dedo de un pie nos indica por sí solo cómo andaba un animal; si el pulgar está separado de los otros dedos (como en la mayoría de los primates), podemos estar seguros de que ese pie tenía todavía funciones prensiles y no estaba especializado en andar. Por lo general sólo encontramos un puñado de huesos. Pero cuando tenemos la suerte de encontrar un esqueleto más completo, como el de Lucy (el 40 por 100 de cuyo esqueleto fue descubierto en Etiopía por Don Johanson a principios de la década de 1970), la información se multiplica. Lucy y los restos que la rodeaban tenían entre 3 y 3,5 millones de años de antigüedad, y aportan un testimonio detallado de la fisiología de al menos una especie de humanos primitivos que vivía en aquellos tiempos.

Los restos de la actividad humana no tienen menos importancia. Lo más trascendente de todo ha sido la multitud de yacimientos de utilaje lítico que se han ido descubriendo, entre otras cosas porque los instrumentos hechos con material menos duradero —corteza de árbol, bambú, etc.— no se suelen conservar. El análisis microscópico del filo de las herramientas líticas nos puede informar sobre lo que cortaban; el estudio de la procedencia de la piedra puede decírnos si los fabricantes buscaban regularmente ciertas materias primas en otras regiones; la reconstrucción de lascas procedentes de talleres líticos puede ofrecernos datos sobre la cantidad de herramientas que se fabricaban; y las técnicas de fabricación nos pueden proporcionar alguna indicación sobre la forma de pensar de nuestros antepasados. El análisis de los huesos de otros animales encontrados en yacimientos de humanos primitivos nos puede informar acerca de si nuestros antepasados comían carne y cómo cazaban. Por

ejemplo, el análisis de las muescas encontradas en ciertos huesos ha revelado huellas ocasionales de despiece humano, superpuestas a las huellas dentales dejadas por los animales carnívoros. Esto significa seguramente que los humanos primitivos rebuscaban entre los restos de los animales muertos por otros depredadores. Además, todos estos testimonios materiales se pueden fechar con mayor o menor exactitud, gracias al creciente repertorio de técnicas de datación modernas. (Sobre las dataciones radiométricas, véase el apéndice 1.)

Pero el registro fósil es desigual y hasta hace muy poco no teníamos ningún fósil del período crucial (hace entre 4 y 7 millones de años) en que los homíninos (el linaje que condujo a nuestra especie) se separaron de la línea que conduce a los chimpancés actuales. De modo que las lagunas tienen que llenarse con testimonios de otra clase. Uno de los más importantes de las últimas décadas se conoció gracias a la datación molecular. Como ya hemos visto en el capítulo 4, buena parte del cambio evolutivo es aleatoria. Se puede afirmar esto en concreto de las partes del genoma de una especie que no afectan directamente a sus probabilidades de supervivencia, por ejemplo las grandes cantidades de «ADN basura» y el ADN contenido en las mitocondrias de todas las células humanas. En estas partes del genoma el cambio genético es «neutral», no afecta al organismo desarrollado. El cambio en el ADN basura viene a ser como barajar un gigantesco mazo de cartas. Por suerte, los procesos aleatorios de esta clase están sometidos a las leyes generales de la estadística. Si se coge otra baraja ordenada por palos y por números y se baraja varias veces, un estadístico puede calcular aproximadamente con cuánta frecuencia se ha barajado, averiguando la diferencia entre el estado actual de la baraja y el inicial. Cuantas más cartas haya y más se barajen, más exacta y fiable será la estimación.

En un artículo publicado en 1967, dos bioquímicos que trabajaban en Estados Unidos, Vincent Sarich y Alan Wilson, argumentaron que gran parte del cambio genético está sometido a leyes parecidas^[14]. Así, si tomamos dos especies actuales y calculamos las diferencias que hay entre sus secuencias de ADN, podemos averiguar con bastante precisión cuándo se separaron las dos líneas del antepasado común. De este modo, la evolución del ADN puede funcionar como una especie de reloj. Al principio, la idea fue recibida con burlas, entre otras cosas porque muchos tomaban por un dogma de fe de la selección natural que todos los cambios evolutivos eran adaptativos, lo cual presuponía que los cambios no se producían de un modo estadísticamente previsible. Sin embargo, en la actualidad se acepta que muchos cambios son realmente aleatorios, y en cualquier caso los resultados de estos métodos de datación coinciden perfectamente con testimonios de muchas otras clases. Hoy se practican y utilizan de manera rutinaria las comparaciones genéticas de este tenor para comprender las relaciones entre diferentes especies, aunque quedan algunos problemas por resolver. Por ejemplo, no todos los cambios genéticos se producen con la regularidad necesaria para ser un reloj exacto. Pero son métodos que pueden ser

muy valiosos en otros cometidos, sobre todo en el estudio de la aparición de los humanos^[15].

Lo primero que presentaban Sarich y Wilson era que, desde el punto de vista de la genética, estábamos más cerca de los chimpancés de lo que se venía suponiendo. En los años setenta se creía que la línea que terminaba en los humanos y la que terminaba en los monos se habían separado hacia entre 15 y 30 millones de años, tiempo suficiente para consolar a quienes les desazona la idea de estar emparentados con los chimpancés. Sin embargo, la diferencia entre nuestro ADN y el de los chimpancés actuales es sólo del 1,6 por 100 aproximadamente. Dicho de otro modo, el 98,4 por 100 de nuestro ADN es idéntico al de los chimpancés actuales. Esto quiere decir que la distancia que hay entre nuestra historia y la de los chimpancés debe explicarse en relación con ese 1,6 de material genético que nos separa de ellos. Las comparaciones del ritmo del cambio genético en los mamíferos eran viables porque se sabía que las especies mamíferas se habían separado rápidamente unas de otras hacía más o menos 65 millones de años, momento en que los dinosaurios estaban condenados a la extinción. Pero resulta que las diferencias entre los humanos y los chimpancés eran sólo el 10 por 100 de las diferencias entre los principales grupos de mamíferos, lo que daba a entender que se habían separado hacia entre 5 y 7 millones de años. Esto quiere decir que en el momento de la bifurcación existía un antepasado de los humanos actuales y de los chimpancés actuales, aunque sin duda tenía un aspecto diferente del de ambos. La parvedad del registro fósil correspondiente a este período nos impide decir prácticamente nada de este antepasado^[16]. Pero podemos estar seguros de que este animal existió, de lo contrario no estaríamos nosotros aquí. Argumentos parecidos sugieren que los humanos y los gorilas tuvieron un antepasado común hace entre 8 y 10 millones de años, y los humanos y los orangutanes otro hace entre 13 y 16 millones de años.

También sabemos mucho sobre el medio en que aparecieron nuestros antepasados homíninos, gracias al análisis de los cambios climáticos y de los restos vegetales y animales. En los últimos millones de años, la climatología planetaria estuvo determinada por los irregulares e imprevisibles cambios climáticos de las glaciaciones (véase el capítulo 5). Estos cambios alteraban hábitats y medios, lo cual beneficiaba a las especies más adaptables y capaces de utilizar una variedad más amplia de nichos ecológicos. Las especies versátiles como la humana actual, capaces de adaptarse a los cambios ecológicos, podrían ser un fruto característico del período de las glaciaciones^[17].

Las diversas técnicas, combinadas entre sí, nos capacitan para describir la evolución física de los homíninos y los ambientes en que vivieron, pero describir conductas es más difícil. Los fósiles nos cuentan algo sobre la forma de vida; pero para ir más allá tenemos que basarnos en comparaciones actuales con otras especies que a lo mejor vivieron del mismo modo. Los investigadores de las últimas décadas, empezando por Jane Goodall y Dian Fossey, han estudiado la vida de los grandes

monos en la selva y actualmente sabemos mucho sobre cómo viven y sobre sus relaciones sociales, sexuales y políticas^[18]. Estos estudios nos señalan por un lado cómo pudieron haber vivido los homíninos, pero por el otro nos pueden confundir, porque los simios de distinta clase e incluso diversas comunidades de una misma clase de simio pueden vivir de diferente manera. Por ejemplo, *Pan troglodytes*, la especie chimpancé más conocida, vive en comunidades dominadas por machos estrechamente emparentados a los que se unen hembras de otras comunidades. Los machos forman jerarquías, pero éstas son variables, y las hembras pueden aparearse con varios machos, circunstancias que hacen que la vida sexual y política de estas comunidades sea muy compleja. Los gorilas, en cambio, suelen vivir en grupos menores de varias hembras y uno o dos machos. Los orangutanes tienden a ser solitarios y sólo se juntan para aparearse. Así pues, no es fácil decidir qué comparaciones con las sociedades de primates nos dan información fidedigna sobre las sociedades de los primeros homíninos.

Lo mismo cabe decir de ese otro símil que tanto ha influido en los estudios de la evolución homínina: la comparación con las sociedades «recolectoras» actuales^[19]. Los antropólogos no dejan de recordar a los paleontólogos que las sociedades recolectoras modernas son muy modernas: todas arrastran de un modo u otro la influencia de la sociedad actual. Elaborar teorías sobre los homíninos o la estructura social de los humanos primitivos es muy arriesgado. Sin embargo, como la tecnología y las estructuras sociales de las sociedades recolectoras modernas se parecen más a las de los humanos primitivos que a las de una moderna comunidad urbana, la advertencia de los antropólogos se pasa sistemáticamente por alto. Los estudios modernos, como los de las poblaciones san de África meridional, nos han servido para construir modelos plausibles de cómo cazaban los primeros homíninos y humanos, cómo se relacionaban los machos y las hembras y qué juegos de poder pueden haberse jugado. Y quizá lo más importante: nos han recordado que las sociedades que parecen sencillas a los habitantes de la ciudad moderna son complejas y están muy desarrolladas a su modo. A fin de cuentas, no ha sido pequeña hazaña sobrevivir durante milenios en los desiertos surafricanos o australianos, o en la tundra siberiana, con tecnologías de la Edad de Piedra.

Por último, las ideas modernas sobre la aparición de otras especies se han utilizado para construir modelos de cómo pudieron aparecer los humanos. Por ejemplo, es muy habitual ver especies nuevas que parecen individuos inmaduros de las especies de las que derivan. Este proceso se denomina *neotenia* y se produce en virtud de unas pequeñas alteraciones en los comutadores genéticos que controlan el ciclo vital de una especie. Estos cambios pueden desencadenar un alud de efectos secundarios y terciarios que producen cambios evolutivos importantes. Se ha dicho que, en muchos aspectos, los humanos nos parecemos más al chimpancé joven que al chimpancé adulto; esta semejanza supone que en parte hemos podido surgir por alguna forma de neotenia, mientras que los chimpancés actuales podrían reflejar más

el aspecto adulto de nuestros antepasados comunes. Asimismo, la investigación moderna ha puesto de manifiesto que la evolución se produce con frecuencia a rachas y con saltos. Si aparece un nuevo nicho, por ejemplo a causa de un cambio climático, lo normal es que se llene rápidamente («rápidamente», desde el punto de vista de la evolución, puede significar unos cientos de miles de años, tal vez millones) con un elevado número de especies muy parecidas que luego pueden ir desapareciendo sin dejar más que un par de líneas con vida. Este proceso se denomina *radiación adaptativa* y cada radiación parece ir asociada, hablando de manera aproximativa, a una estrategia ecológica particular. Parece que entre las especies de las que descendemos, como veremos más abajo, hubo varias radiaciones adaptativas, cada una de las cuales, como hoy sabemos, añadió algo nuevo al paquete final que fuimos nosotros^[20].

Todos estos argumentos y testimonios se han utilizado para elaborar la versión actual de la aparición de nuestra especie. La historia dista de estar completa, pero es más fecunda y se basa en muchos más testimonios que las versiones de hace apenas diez años.

RADIACIONES DE PRIMATES Y HOMÍNINOS

Ya he señalado que la aparición del lenguaje simbólico podría ser el umbral que conduce a la historia humana. Pero el lenguaje simbólico no podía haber representado tanta diferencia si nuestros antepasados no hubieran tenido otras cualidades que les capacitaban para aprovechar las ventajas que aportaba. Entre estas adaptaciones previas cabe señalar la sociabilidad, ciertas facultades lingüísticas preexistentes, la bipedación y la habilidad manual, la cacería animal y la dieta carnívora, un aprendizaje infantil largo y un cerebro grande. A continuación procuraremos rastrear los procesos aleatorios por los que estos elementos aparecieron y se combinaron en el paquete de rasgos que forma nuestra especie.

La herencia primate

Compartimos muchos de estos rasgos con otros primates^[21]. Casi todos los primates han sido arborícolas. Los animales que viven en los árboles tienen que ver bien o sucumben. En consecuencia, todos los primates tienen buena vista y visión estereoscópica. El olfato es menos importante, mucho menos que para los perros, motivo por el que casi todos los primates tienen nariz pequeña y cara achatada. La información visual, en un medio complejo y tridimensional, necesita mucho procesamiento, así que casi todos los primates tienen el encéfalo grande en comparación con el tamaño corporal, y la línea primate en general se ha caracterizado

por el aumento relativo del tamaño encefálico. Un cerebro mayor suele suponer una vida más larga, quizás porque supone mayor dependencia del aprendizaje, y éste, en principio, mejora con la edad. La vida arborícola exige también destreza, así que casi todos los primates tienen manos y pies que pueden asir y manipular objetos. En la práctica, esto significa que los pulgares pueden oponerse a los demás dedos. La vida arborícola fomenta además una mayor especialización del trabajo entre las extremidades anteriores y posteriores de lo que es habitual entre las especies que viven al nivel del suelo. Aunque casi todos los primates tienen manos y pies prensiles, las extremidades posteriores tienden a especializarse en la locomoción y las anteriores en actividades prensiles.

Los humanos pertenecen a un grupo concreto de primates del Viejo Mundo, el grupo de los hominoideos. Comprende a los humanos, a los simios emparentados con ellos —chimpancés, gorilas, orangutanes y gibones— y a todos sus antepasados, actualmente extinguidos. Los fósiles más antiguos encuadrados en esta superfamilia de organismos tienen poco más de 20 millones de años, lo que quiere decir que aparecieron al principio de lo que los geólogos llaman mioceno (aproximadamente entre 23 y 5,2 millones de años antes del presente). Estos restos pertenecen a la especie *Proconsul*^[22]. Aunque es probable que los hominoideos aparecieran en África, ya desde 18 millones de años antes del presente hay restos por todo el sur de Eurasia continental, desde Francia hasta Indonesia. Los hominoideos eran un grupo diferenciado y parece que durante un tiempo fueron más numerosos que otras especies de monos. Sus migraciones son un caso modélico de radiación adaptativa.

El registro fósil no está lo bastante definido para que conozcamos con exactitud las estrategias evolutivas que mejor definen a los hominoideos, aunque entre ellas podrían figurar el tamaño corporal creciente, la mayor destreza manual, el tamaño encefálico y la disposición a salir de la cobertura arbórea. Son rasgos que compartimos con los restantes miembros de esta superfamilia de primates.

La bipedación y los primeros homíninos

Los homíninos son una división de la familia de los hominoideos, los simios grandes. Los homíninos comprenden sólo a nuestros antepasados inmediatos. Su historia empieza en la transición del mioceno al plioceno hace entre 5 y 6 millones de años. La construcción de esta historia comienza con el hallazgo, basado en técnicas de datación molecular, de que hace unos 6 millones de años existió en África un antepasado de los chimpancés y los humanos actuales. Desde entonces, mediante una serie de radiaciones adaptativas, ha aparecido una amplia gama de especies de homíninos, tal vez veinte o treinta. Hace treinta años, el problema era encontrar restos de *cualquier* homínino, pero en la actualidad el problema es saber cuál de las muchas especies que conocemos ya está en la línea que dio lugar a los humanos actuales.

La aspiración de todo paleontólogo moderno es encontrar restos de la especie de la que descienden los chimpancés y los humanos. Y es posible que se haya encontrado ya, o esta especie o algo que se le parece mucho. En el año 2000, un equipo de arqueólogos franceses y keniatas que trabajaba en el norte de Nairobi encontró los restos de un animal de unos 6 millones de años de antigüedad al que la prensa puso de inmediato el apodo de «Hombre del Milenio^[23]». Pero su condición real está por determinar todavía. Su aspecto es lo bastante simiesco para que muchos paleontólogos lo hayan puesto en la vertiente chimpancé de la gran divisoria que separa a los chimpancés de los humanos. Se han hecho comentarios parecidos sobre otro posible candidato a primer homínino, *Ardipithecus ramidus kadabba*, algunos de cuyos restos fueron encontrados en el tramo etíope del valle del Rift por un equipo de arqueólogos estadounidenses, según informó la revista *Nature* en julio de 2001^[24]. La datación de los restos ha dado entre 5,2 y 5,8 millones de años de antigüedad. Se trata de un hueso de los dedos del pie, cuya forma sugiere que la criatura era bípeda. En la actualidad, la mayoría de los paleontólogos está de acuerdo en que el rasgo decisivo que diferencia a los homíninos de los grandes simios es la bipedación: todas las especies de homíninos que se conocen son bípedas, mientras que no se conoce ninguna especie de simio que lo sea (aunque los chimpancés pueden estar erguidos durante breves períodos^[25]). Será crucial resolver la incógnita de si estos tempranos especímenes fueron bípedos o no; hoy por hoy, los testimonios son equívocos.

La polémica sobre la trascendencia de estos hallazgos se complica por el hecho de que, aunque hay muchas teorías, nadie sabe a ciencia cierta por qué apareció la bipedación^[26]. Unas se centran en el papel del cambio climático. Hace 20 millones de años, África era relativamente llana y sus regiones ecuatoriales estaban uniformemente cubiertas de bosque tropical. Pero hace unos 15 millones de años, la placa tectónica africana empezó a partirse por la mitad. La actividad tectónica creó una larga cadena de montañas y grietas, lo que en la actualidad se denomina valle del Rift, que rasgó hacia el norte y hacia el sur el sector oriental del continente. Estas aberturas en la corteza terrestre son una bendición para los buscadores de fósiles. Pero son las montañas lo que podría explicar la presencia de fósiles de homíninos, ya que impiden que llueva en el sector oriental, que por ello es más seco que el occidental. Según Yves Coppens, esta aridez impulsó a algunas especies a adentrarse en paisajes menos boscosos, donde para conseguir la comida a la que estaban acostumbradas tenían que recorrer distancias mayores entre una arboleda y otra. Es posible que esto fomentara la aparición de una postura más erguida, porque el andar apoyándose en los nudillos que es característico del chimpancé es poco recomendable para recorrer distancias largas. Una teoría prometedora pero sin suerte, porque algunos de los fósiles de homíninos que se han encontrado en los últimos años, entre ellos los restos de *Ardipithecus ramidus kadabba*, han aparecido en medios que probablemente estaban cubiertos de bosque^[27].

Puede que la locomoción bípeda capacitara a los homíninos para ver de lejos en campo abierto a los enemigos potenciales. O puede que fuera más eficaz en punto a energía que andar apoyándose sobre los nudillos, como los chimpancés, y capacitara a los primeros homíninos para buscar comida en un área más grande. También es posible que andar erguidos en medios carentes de sombra protegiera de las quemaduras solares al limitar la cantidad de piel expuesta directamente al sol. Éstos y otros condicionantes habrían influido para que a aquellos individuos acabara resultándoles más sencillo andar erguidos. (Este último argumento podría explicar además por qué los homíninos, en un momento dado de su evolución, se volvieron menos peludos que los demás simios grandes). Las comparaciones con los chimpancés no dejan de tener consecuencias, porque como ha señalado Coppens, los chimpancés se esfuerzan por mantenerse erguidos en tres situaciones: «para ver más lejos, para defenderse o atacar —ya que la posición vertical libera las manos y permite arrojar piedras— y para llevar comida a su prole^[28]».

Fueran cuales fuesen las causas de la bipedación, el testimonio fósil, aunque magro, revela que en menos de 2 millones de años aparecieron muchas especies bípedas. Entre ellas estaba la de *Ardipithecus ramidus ramidus*, cuyos restos se encontraron en Etiopía en 1994 y dieron una antigüedad de unos 4,4 millones de años. Estas primeras especies homíninas reflejan la primera gran radiación adaptativa de la historia de los homíninos, y su supervivencia se asocia a las ventajas de la bipedación, fueran cuales fuesen.

Australopitecos

Las dos radiaciones homíninas siguientes tienen que ver con un grupo de especies que los paleontólogos llaman *australopitecos*.

Todos los australopitecos eran bípedos. Lo sabemos por la estructura de la pelvis, la longitud relativa de brazos y piernas y el punto de entronque de la columna y el cráneo (inferior y no posterior). La especie de australopitecos más antigua que conocemos en la actualidad es la del *Australopithecus anamensis*, cuyos restos se encontraron en 1995 en la región del lago Turkana, en el norte de Kenia. Han dado una antigüedad de unos 4,2 millones de años^[29]. Los restos mejor conocidos fueron encontrados en Etiopía en la década de 1970 por el paleontólogo estadounidense Don Johanson. Encontró casi la mitad del esqueleto de una hembra bípeda a la que bautizó con el nombre de Lucy (según se dijo, por la canción de los Beatles «Lucy in the sky with diamonds»). Lucy medía 1,10 metros de estatura, aunque otros restos encontrados en los alrededores dieron una talla de 1,50. Todos estos restos tenían una antigüedad de 3-3,7 millones de años; se les suele incluir en la especie *Australopithecus afarensis*, llamada así por el valle etíope de Afar, donde se encontraron^[30]. En 1998 se encontró en Suráfrica un esqueleto más completo aún,

incluso con cráneo. Se ha datado entre 2,5 y 3,5 millones de años antes del presente. Las famosas pisadas de Laetoli encontradas por Mary Leakey podrían ser más antiguas, ya que se remontan por lo menos a 3,5-3,7 millones de años antes del presente. Las dejaron tres australopitecos, dos caminaban hombro con hombro y el tercero iba detrás. Al parecer iban cogidos de la mano mientras andaban sobre lo que tal vez fueran cenizas volcánicas calientes. Estas asombrosas pisadas confirman directamente lo que otros restos fósiles se limitan a sugerir: que los homíninos más antiguos que se conocen eran bípedos. En 1995, unos arqueólogos que trabajaban en el Chad, muy al oeste del valle del Rift, descubrieron los restos de una especie desconocida, *Australopithecus bahrel-ghazali*, que al parecer vivió hace entre 3 y 3,5 millones de años. Salta a la vista que los australopitecos vivían a ambos lados del valle del Rift. Así pues, los cientos de individuos cuyos restos se encontraron en el siglo xx ocupaban una zona muy amplia que iba desde Etiopía hasta el Chad y hasta Suráfrica.

Aunque los australopitecos eran bípedos, el estudio detallado de su anatomía y en particular de sus manos ha puesto de manifiesto que seguían adaptados a la vida en los árboles y que su paso no era tan eficaz como el de los humanos actuales. Más importante es saber que tenían un encéfalo pequeño que oscilaba entre los 380 y los 450 centímetros cúbicos. Este tamaño contrasta con los 300-400 centímetros cúbicos de los chimpancés actuales y los 1350 que tiene hoy el cerebro medio de los humanos. El primer rasgo diferencial de la línea homínina no fue la cerebración, sino la bipedación (véase la figura 6.2).

Hay poderosas razones para creer que nuestro linaje se remonta a las primeras formas de australopitecos. En una radiación muy diferente apareció otro grupo australopiteco que, según los paleontólogos, era de aspecto más «robusto» que *afarensis*. Existió hace entre 3 millones de años y quizás 1 millón como fecha más tardía, y en ocasiones se pone en un género aparte, *Paranthropus*. Lo característico de los individuos de este grupo y que los distingue en tanto que línea evolutiva diferente de la nuestra es que desarrollaron unas mandíbulas excepcionalmente fuertes para triturar los productos vegetales correosos. En consecuencia tenían el cráneo grande, con crestas pronunciadas que servían de apoyo a los poderosos músculos de la masticación.

¿Qué sabemos de la forma de vida de los australopitecos? Si empezamos por la dieta, es probable que casi todos dependieran básicamente de los productos que habían comido sus antepasados en los bosques. Tenían la dentadura adaptada para triturar la cáscara de los frutos secos o fibrosos, hojas y otros alimentos vegetales. Sin embargo, es probable que comieran carne de vez en cuando, ya que la observación directa ha puesto de manifiesto que casi todos los primates vivos son carnívoros ocasionales y comen toda la carne que pueden^[31]. Quizás cazaban animales pequeños y débiles (incluidos otros primates) o aprovechaban los restos de animales muertos de

manera natural o exterminados por otros carnívoros. Pero, en términos generales, los australopitecos eran vegetarianos.

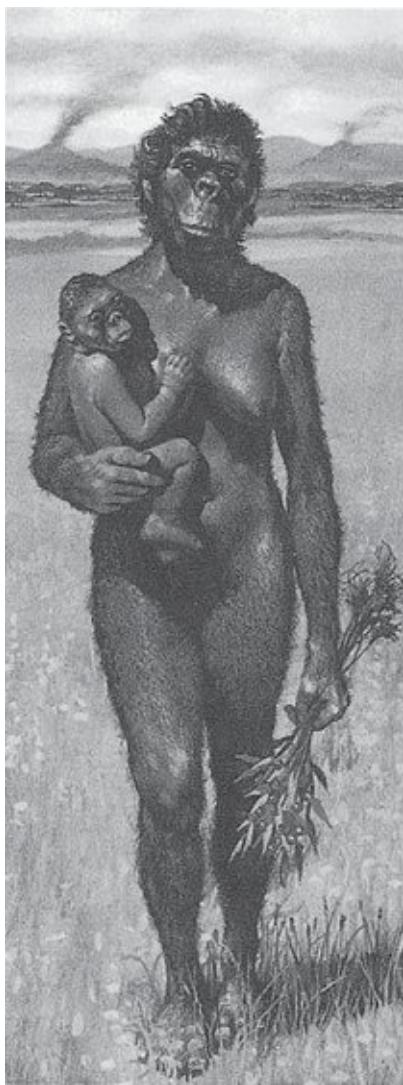


FIGURA 6.2. Reconstrucción de Lucy, un australopithecino que vivió en el valle de Hadar, en lo que hoy es Etiopía, hace alrededor de 3,2 millones de años. Lucy media 1,10 metros y tenía un encéfalo que era más o menos del tamaño del de un chimpancé actual. De G. Burenhult, ed., *The First Humans*, vol. 1 de *The Illustrated History of Humankind*, 5 vols., Harper SanFrancisco, San Francisco, 1993. (Copyright © 1993 by Weldon Owen Pty. Ltd./Bra Broker AB. Reimpreso con autorización de HarperCollins Publishers Inc).

Las comparaciones con primates actuales que ocupan nichos parecidos dan a entender que los australopitecos vivían en pequeños grupos familiares que viajaban juntos y cuyos individuos buscaban la comida por separado. No hay pruebas de que tuvieran más capacidad lingüística que los chimpancés actuales. Esto no significa que no hubiera política ni comunicación entre ellos. Como en muchas sociedades primates actuales, es probable que los machos y las hembras formaran jerarquías de dominio y pasaran mucho tiempo tratando de la política del grupo y presumiblemente pensando en ella. A semejanza de los chimpancés actuales, es posible que los australopitecos se comunicaran mediante gestos, sonidos y actividades como el aseo. Pero ni los chimpancés ni los australopitecos tenían el aparato vocal ni la capacidad intelectual que se necesita para transmitir con exactitud información abstracta.

El estudio de las sociedades de primates estrechamente relacionados con los humanos modernos arroja resultados contradictorios sobre la naturaleza de las primeras sociedades homíninas. Genéticamente estamos más cerca de los chimpancés, y los miembros de la especie chimpancé más conocida, *Pan troglodytes*, viven en grupos unidos por machos estrechamente emparentados. Los machos se quedan en su grupo natal y las hembras cambian de grupo. Pero a diferencia de los chimpancés, parece que casi todas las especies australopitecas presentaban un acentuado dimorfismo sexual (los machos eran mucho mayores que las hembras). Esto sugiere que, en algunos aspectos, las «sociedades» australopitecas podrían haber estado más cerca de las de los gorilas^[32]. Los gorilas machos son mayores porque compiten entre sí por el acceso a las hembras, lo cual garantiza que la mayor parte de la descendencia procederá de los machos más grandes. El resultado es un mundo social en el que un macho dominante y quizás un macho más joven viajan con varias hembras y sus crías en grupos que pueden tener hasta veinte individuos. No creo que sea difícil imaginarse un mundo entre estas estructuras. Probablemente era un mundo de grupúsculos, menores que los de los chimpancés actuales, en los que los machos emparentados competían por el mando y por tener acceso a las hembras. Puede que los machos dominantes tuvieran acceso a varias hembras, pero no era un acceso exclusivo. Cabe la posibilidad de que los australopitecos vivieran en un mundo en el que los machos estuvieran enzarzados en una competición más o menos continua para atraer a las hembras. Sin embargo, en el núcleo de este mundo de machos competitivos pero estrechamente emparentados había unidades menores y más cerradas, compuestas por las madres y sus hijos, como en la mayoría de los grupos actuales de primates. Se sabe que las madres chimpancés establecen lazos duraderos y afectuosos con sus crías, mientras que los machos manifiestan poco interés por el cuidado de las crías y no tienen ningún sentido de la paternidad. En general, no hay indicios suficientes para afirmar que los australopitecos fueran muy distintos, en fisiología o estilo de vida, de los grandes simios actuales.

Uso de herramientas y consumo de carne: Homo habilis

Para los especialistas en homínidos, la garganta de Olduvai, un barranco de 50 kilómetros de anchura situado en la llanura de Serengeti, en el norte de Tanzania, y que forma parte del valle del Rift, es un lugar especial: los testimonios encontrados allí han aportado las pruebas más contundentes de que nuestra especie apareció en África. En 1960, Jonathan Leakey —hijo de Louis Leakey, uno de los fundadores de la paleoantropología moderna— encontró el fósil de un homínino de 1,4 metros de estatura. Louis Leakey afirmó que pertenecía al mismo género que los humanos (*Homo*) y en consecuencia lo llamó *Homo habilis*, hombre hábil. Pasó a ser la especie más antigua del género que abarca a los humanos actuales.

Aunque muchos antropólogos pensaron que los restos pertenecían sencillamente a un australopiteco inusualmente delgado, dos factores animaron a Leakey a pensar que aquella especie era más «humana». Por un lado encontró, asociados a *Homo habilis*, los testimonios más antiguos de la fabricación y empleo sistemáticos de herramientas de piedra. La habilidad implícita en estas actividades parecía bastante más compleja que la que se había visto entre los homíninos anteriores. Por otro, el encéfalo de *habilis* era mucho mayor que el de los australopitecos, ya que estaba entre los 600 y los 800 centímetros cúbicos. *Homo habilis* parecía ser un animal sabio que utilizaba herramientas, como los humanos actuales; de modo que cabía la posibilidad de que la aparición de una especie nueva, hace unos 2,3 millones de años, señalara el verdadero comienzo de la historia humana. Los antropólogos actuales han conservado la terminología de Leakey, y no hay duda de que *habilis* tiene rasgos distintivos, algunos de los cuales podrían deberse a los cambios ecológicos causados, hace alrededor de 2,5 millones de años, por la llegada de climas más fríos y secos. Por ejemplo, las herramientas líticas fabricadas por *habilis* muestran indicios de «lateralidad», que presupone una división entre los hemisferios izquierdo y derecho del cerebro; lo cual podría ser a su vez un requisito imprescindible para mejorar la capacidad lingüística^[33]. Sin embargo, las últimas investigaciones sobre la creciente cantidad de yacimientos y restos de *habilis* ha puesto de manifiesto que entre su capacidad intelectual y su forma de vida y las de los humanos actuales hay un abismo mayor de lo que suponía Leakey^[34].

Estos cambios de actitud ante *habilis* se deben en parte a que los paleontólogos actuales están menos impresionados que Leakey por el uso de herramientas. Hoy sabemos que muchos animales emplean herramientas de una clase u otra y los chimpancés las utilizan para más cometidos que los demás animales, exceptuando a los humanos. Por ejemplo, se ha visto a chimpancés introducir un palo en un nido de termitas, luego sacarlo rápidamente y comerse las termitas adheridas al palo; algunos incluso parten nueces con piedras. Sin embargo, parece que *habilis* las utilizaba de un modo inédito que exigía más planificación y previsión. Los paleontólogos califican su industria lítica de olduvaiense, dado que se han encontrado muchas en la garganta de Olduvai. Estas herramientas tienen una forma muy característica que se mantiene en el registro fósil durante casi 2 millones de años, hasta hace casi 250 000 (véase la figura 6.3). Se trata básicamente de piedras grandes, por lo general cantos de los ríos, de basalto o cuarcita, de los que se han extraído fragmentos, golpeándolos con otra piedra como si fuera un martillo, para afilar uno o dos bordes.

Hacer estas herramientas exige mucha planificación y experiencia, más de las que se necesitan para hacer las sencillas herramientas de los chimpancés. Modernamente se han hecho experimentos con el martilleo de piedras que han puesto de manifiesto que las piedras originales necesitaban seleccionarse con cuidado y golpearse con precisión. En realidad, hacer herramientas de piedra exige con exactitud las habilidades en que está especializado el lóbulo frontal, esa parte del cerebro que

había de ampliarse del modo más significativo con la aparición de los humanos. Es posible que el uso de herramientas apareciese en virtud de un proceso llamado adaptación de Baldwin (llamada así por el psicólogo estadounidense del siglo XIX que fue el primero en describirla de manera sistemática). Es una forma de cambio evolutivo que parece combinar elementos darwinianos y culturales, porque los cambios conductuales producen cambios en el estilo de vida del animal y crean en consecuencia nuevas presiones selectivas que con el tiempo producen cambios genéticos. Por ejemplo, las especies que aprenden comportamientos nuevos que les permiten vivir en climas fríos pueden llegar a adaptarse genéticamente al nuevo entorno desarrollando una capa protectora de pelo (como fue el caso de los mamuts y de los rinocerontes lanudos). Entre los humanos, los grupos que criaban animales domésticos acabaron adquiriendo, con el paso de muchas generaciones, mayor capacidad para digerir la leche: las raras mutaciones que prolongan la producción de la lactasa, la enzima que sirve para digerir la lactosa de la leche, se volvieron más comunes. Es posible que, de un modo parecido, los homíninos mejor dotados para fabricar y utilizar herramientas adquirieran una ventaja selectiva que les permitiera tener más descendencia, con lo que sus facultades intelectuales se incorporaron pronto al bagaje genético de toda la especie. Si fue así, entonces el uso de herramientas podría haber sido tanto una causa como un efecto del crecimiento encefálico, un proceso de retroacción positiva.

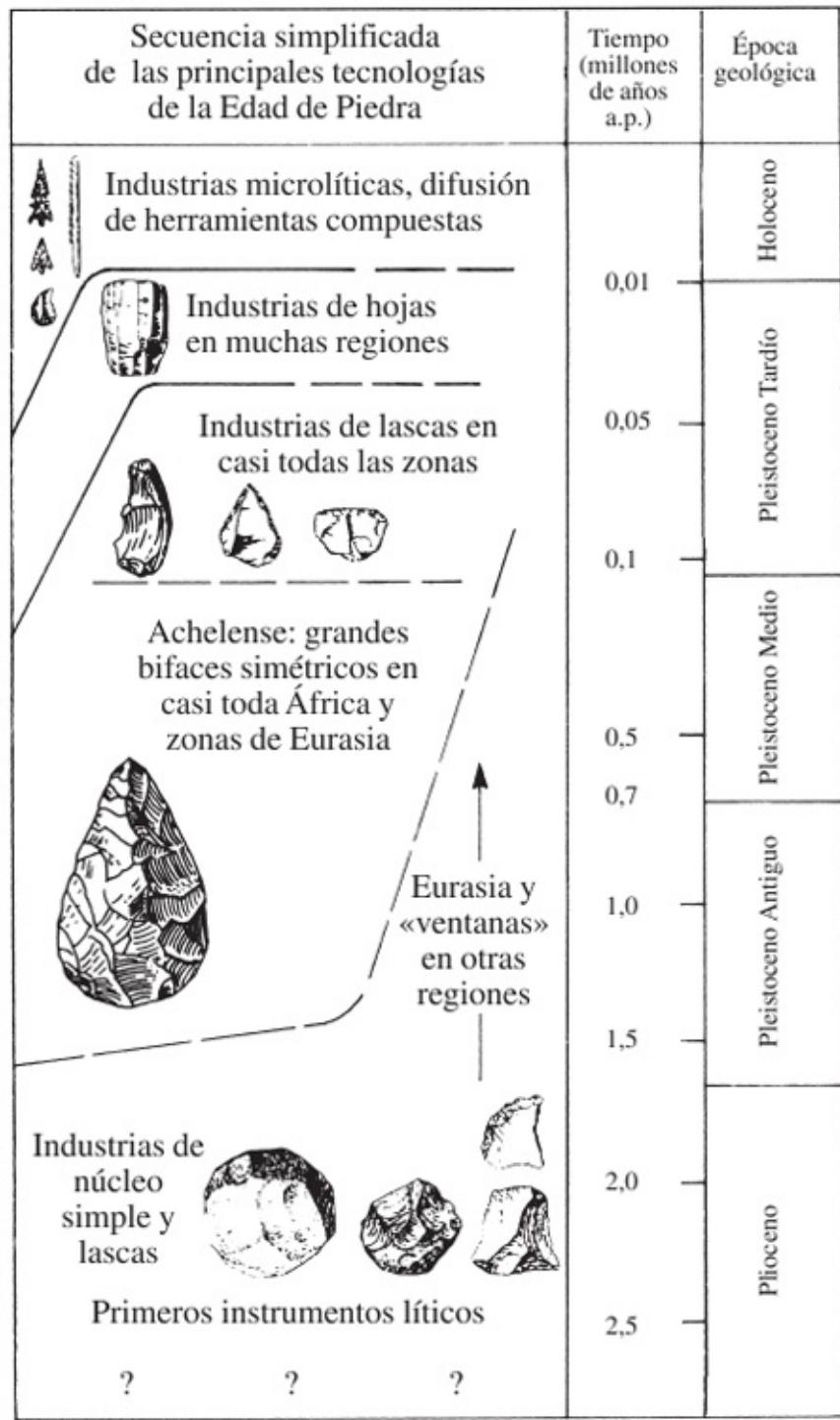


FIGURA 6.3. Evolución de las herramientas de piedra en los últimos 2,5 millones de años. Según Steven Jones, Robert Martin y David Pilbeam, eds., *Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992, p. 357. Reimpreso con permiso de Cambridge University Press.

¿Para qué se utilizaban las herramientas de piedra? Ciertos experimentos modernos han puesto de manifiesto que los percutores olduvaienses podrían haberse empleado para partir huesos o para trabajar la madera. Pero los fragmentos que se desprendían al desbastarlos eran probablemente más importantes que el núcleo, ya que con ellos se hacían lascas pequeñas y afiladas que podían emplearse para despiezar carne y hacer tallas. Así pues, podemos imaginarnos a aquellos *habilis*, individualmente y en grupo, merodeando en busca de comida y con guijarros de los

que extraían lascas cuando hacía falta. El análisis microscópico de los bordes ha revelado que las herramientas líticas olduvaienses se empleaban para muchas cosas. Puede que el uso más importante fuera disponer de una dieta más nutritiva y variada. Podían emplearse para desenterrar tubérculos a los que no podía llegarse de otro modo. Algo más importante aún es que los percutores y las lascas que se extraían de ellos podían emplearse para ahuyentar a otros depredadores de los animales muertos, para llegar al tuétano de los huesos de los animales grandes y para trocear los cadáveres. La obtuvieran como la obtuviesen, *habilis* comía más carne que los australopitecos, según sugieren los testimonios dentales. Es posible que este nutritivo producto aportara parte de la energía metabólica extra que se necesitaba para sostener un encéfalo mayor, en particular si, como parece probable, la ingestión de carne permitió la reducción del intestino y, por lo tanto, la cantidad de energía necesaria para procesar y digerir la comida. Comer carne pudo haber incrementado además la complejidad de la vida social, ya que recientemente se ha demostrado que los chimpancés dan un valor muy alto a la carne y la utilizan como una especie de moneda, una forma de negociar con otros para obtener favores sexuales, políticos o materiales^[35]. En pocas palabras, es posible que comer más carne estimulara nuevas formas de complejidad intelectual y social.

Pero no deberíamos exagerar la importancia de la comida en la dieta de *habilis*. Actualmente se cree que estos primates no eran más que cazadores de ocasión, quizás como ciertos grupos de chimpancés modernos^[36]. El estudio de la dentadura de *habilis* da a entender que también él vivía básicamente de productos vegetales, aunque la carne fuera de vez en cuando un complemento sumamente valorado. Además, sus herramientas líticas eran muy sencillas en comparación con las de los recolectores actuales y, aunque útiles para la recolección o la actividad carroñera, habrían servido de poco para la caza de verdad. El análisis minucioso de las muescas encontradas en huesos de los yacimientos de *habilis* pone de manifiesto que troceaba cadáveres, pero que no siempre era él el que mataba al animal, porque los cortes que hacía se encuentran a menudo *encima* de las marcas dentales de otros animales.

Los estudios anatómicos dan a entender asimismo que *habilis* no era totalmente bípedo y que es posible que pasara mucho tiempo en los árboles. Así que podemos imaginarnos a grupos de *habilis*, de entre cinco y treinta individuos, que vagan en busca de comida durante el día, aproximadamente como los primates actuales o como los australopitecos, y que tal vez se congreguen por la noche y se refugien en los árboles. Su nicho ecológico preferido era todavía como el de los australopitecos, aunque la búsqueda de carne era más importante para ellos y pasaban más tiempo a ras del suelo.

En general no hay indicios claros del salto cualitativo en inteligencia y complejidad social que supuso Louis Leakey cuando descubrió a *Homo habilis*.

Crecimiento del cerebro y del territorio: Homo ergaster y Homo erectus

Homo habilis vivía en África oriental con otras especies, entre ellas el australopiteco robusto (*Paranthropus*). En realidad, y siguiendo una pauta que es habitual en la historia temprana de las adaptaciones nuevas como la bipedación, la historia de los primeros homíninos manifiesta una gran variedad. Es posible que la especie *habilis* fuera contemporánea de seis especies homíninas o más.

Hace alrededor de 1,8 millones de años, en la transición del plioceno al pleistoceno, apareció otra especie homínina que los antropólogos actuales llaman *Homo erectus* u *Homo ergaster*^[37]. En 1984 se encontró en Nariokotome, en Kenia, un ejemplar de *ergaster* asombrosamente conservado, de una antigüedad aproximada de 1,8 millones de años. «El chico de Turkana», como se llama a este fósil, es el más completo de todos los fósiles de homíninos. El chico de Turkana murió en la adolescencia, pero medía ya más de metro y medio y tenía un cráneo de unos 880 centímetros cúbicos, casi un tercio mayor que el de la mayoría de los cráneos de *habilis* que se conocen^[38].

Hace un millón de años, a consecuencia de una de las radiaciones homíninas más espectaculares, varias formas de *erectus/ergaster* desplazaron a las demás formas homíninas. Los individuos de la especie *ergaster* eran más altos que los de la especie *habilis* y tenían el cerebro más grande, entre 850 y 1000 centímetros cúbicos. Este tamaño los sitúa en el radio de los cráneos humanos actuales. Hay otros indicios de que estaban significativamente cerca de los humanos modernos. Desde hace alrededor de 1,5 millones de años empezaron a fabricar unas herramientas de nuevo cuño, las hachas o bifaces achelenses, cuya preparación exigía más madurez intelectual que las herramientas olduvaienses. Están talladas con más precisión y elegancia que los percutores de Olduvai. Y están trabajadas por todas las caras, para que tengan forma de almendra; por lo general tienen dos bordes afilados. A veces, el filo de los bordes se perfeccionaba con un martillo de hueso. Cabe la posibilidad de que algunas poblaciones de *ergaster* conocieran el uso del fuego. El fuego habría supuesto una valiosa protección, sobre todo en las cuevas, y además habría permitido ablandar y limpiar la carne cocinándola. Sin embargo, si conocían el fuego, no lo empleaban de manera sistemática. Por ejemplo, no hay rastros de fogones asociados a esta especie^[39].

Es probable que *ergaster* tuviera una capacidad lingüística superior a la de *habilis*, pero no sabemos hasta qué punto. Un prosencéfalo más grande sugiere una capacidad mejorada para entender y procesar símbolos, mientras que la posición más baja de la laringe podría haber permitido mayor flexibilidad vocal; en consecuencia, es posible que la comunicación verbal creciera en importancia en comparación con la comunicación gestual. No obstante, hay pocos testimonios directos de la gran capacidad para la actividad simbólica que se ve en los restos fósiles de humanos actuales, así que es probable que la comunicación simbólica, aun en el caso de que

existiera, no hubiera causado todavía un impacto revolucionario ni en el comportamiento ni en la conciencia de *ergaster*^[40]. Steven Mithen ha formulado una interesante sugerencia: que *ergaster* pudo haber empleado la capacidad lingüística que tuviera básicamente en las situaciones sociales^[41]. No hay indicios de que se empleara el lenguaje para resolver problemas tecnológicos, porque una vez que aparecieron, los bifaces achelenses de *ergaster* cambiaron muy poco en el curso de un millón de años. Y aunque la dieta de *ergaster* incluía seguramente más carne que la de su pariente *habilis*, es poco probable que se dedicara a la caza con la asiduidad que vemos en los recolectores de nuestros días.

El indicio más importante de que había un aumento en la flexibilidad conductual de estas especies es que entre ellas estaban los primeros homíninos que salieron de África oriental y luego del continente africano y entraron en Eurasia. Hace unos 700 000 años, las comunidades de *Homo erectus* vivían en ciertas regiones de Asia meridional e incluso habían penetrado en la Europa de los hielos. Los primeros restos de *erectus* se encontraron en Indonesia en 1891 y es posible que los mejor conocidos sean los encontrados en la década de 1920 en la cueva Youkoudian, que hoy está a unos minutos en tren de Pekín. En general, los nichos que exploró *erectus* abarcaban un ámbito más amplio que los utilizados por *habilis*, y decimos «más amplio» tanto en sentido ecológico como geográfico. Al parecer se las ingenió para vivir en regiones de clima demasiado frío para *habilis*, o demasiado dependiente de las estaciones.

El aumento de los nichos disponibles para una especie significa normalmente un gran triunfo demográfico, y parece razonable suponer que los homíninos se multiplicaron con el aumento de los nichos disponibles. Aunque no conocemos el tamaño demográfico de ninguna especie de homíninos primitivos, debió de ser más o menos como el de las poblaciones de grandes simios antes del siglo xx. En un momento dado habría probablemente unas decenas de miles de individuos, a lo sumo unos doscientos mil, y la cantidad aumentó sin duda cuando emigraron al oeste y el norte de África y luego hacia Eurasia meridional. Pero todavía no tenemos ningún testimonio del crecimiento demográfico a largo plazo ni siquiera en el caso de *erectus*. Así pues, no deberíamos exagerar el significado de las migraciones africanas. En Eurasia meridional, *erectus* entró en medios que cambiaban más con las estaciones que los de la sabana de África oriental, pero que por lo demás eran muy parecidos. Y es posible que también emigraran muchas otras especies de mamíferos, entre ellas las de los primeros hominoideos. Por último, es sorprendente que *erectus* no consiguiera aclimatarse al frío interior de Eurasia septentrional^[42]. Tampoco hay indicios de que cruzaran el mar y llegasen a Australia y a Papúa y Nueva Guinea.

Durante el último millón de años aparecieron clases nuevas de homíninos en distintas regiones de África y Eurasia. El encéfalo de estas especies creció rápidamente en todas partes. Al final es posible que llegaran a tener una capacidad craneana de 1300 centímetros cúbicos, volumen que los sitúa en el tamaño de los humanos actuales. Hace alrededor de 200 000 años apareció asimismo, tras un largo período de escaso cambio tecnológico, una nueva clase de tecnología lítica: las herramientas llamadas levalloisienses o musterenses. El núcleo, tallado en forma de caparazón de tortuga, se preparaba de tal modo que con un solo golpe bien calculado saltaban varias lascas. Es de suponer que la exploración de nuevos nichos estuvo relacionada con el enriquecimiento de la caja de herramientas.

¿Por qué creció tan aprisa el encéfalo de los homíninos? Explicar el aumento del encéfalo es más difícil de lo que parece, porque los encéfalos grandes son escasos, y con razón. El encéfalo de los humanos actuales es sin ninguna duda el objeto más complejo que conocemos. E. O. Wilson ha dicho que la aparición del encéfalo humano representa uno de los cuatro grandes puntos de inflexión de la historia de la vida en la Tierra^[43]. Un encéfalo humano contiene alrededor de 100 000 millones de células nerviosas, tantas como estrellas en una galaxia de tamaño medio. Éstas están conectadas entre sí (por término medio, una neurona puede estar conectada a otras 100 neuronas) y forman redes de asombrosa complejidad que podrían contener cerca de 100 000 kilómetros de vínculos. Una estructura así puede procesar en paralelo. Esto significa que, aunque sus operaciones sean más lentas que las de un ordenador moderno, la cantidad total de operaciones que ejecuta en un momento dado es muchísimo mayor. Aunque un ordenador pueda ser capaz de ejecutar mil millones de operaciones en un segundo, incluso el encéfalo de una mosca en reposo podría ejecutar por lo menos cien veces esa cantidad^[44]. Producir un ordenador biológico tan potente fue, qué duda cabe, una excelente jugada darwiniana.

Pero, aunque este argumento es convincente en principio, comporta serias dificultades. Si el encéfalo es tan «adaptativo», ¿por qué tan pocas especies han desarrollado un encéfalo que fuera realmente grande en relación con el tamaño del cuerpo? El problema es que un encéfalo cuesta de mantener. El humano consume el 20 por 100 de la energía que se necesita para mantener todo el cuerpo, pero representa sólo el 3 por 100 del peso corporal total. Tener niños cabezudos es también difícil y peligroso, sobre todo para una especie bípeda, ya que la bipedación exige caderas estrechas y no anchas. Dicho de otro modo, desarrollar un encéfalo grande es una apuesta evolutiva arriesgada. De modo que no podemos dar por sentado sin más que el encéfalo grande apareció porque era beneficioso. Tenemos que encontrar explicaciones más concretas.

Una respuesta podría ser que el encéfalo era una buena estufa para las especies que vivían al aire libre. Aunque lo parezca, no es una frivolidad. Pero podría haber respuestas mejores y más incisivas. Es posible que hubiera bucles de retroacción en relación con alguna variante de la adaptación de Baldwin. Cambios producidos en

una zona (genéticos o conductuales) originaban cambios en otras, lo cual creaba más presiones selectivas que intensificaban el cambio primero. Un bucle así, como hemos visto, puede relacionar el uso de herramientas con el tamaño encefálico.

Otro bucle, que tal vez operase en combinación con el anterior, relaciona sociabilidad y tamaño encefálico. Incluso entre los chimpancés se ha demostrado que la capacidad para planear bien las relaciones sociales puede aumentar las probabilidades reproductoras de los individuos. Y estos procesos pueden establecer bucles de retroacción relativamente veloces, conforme aumentan la cantidad de individuos socialmente dotados, la cantidad de sus apareamientos y la cantidad de descendientes con probabilidades de tener más facultades sociales y políticas. Con el tiempo, es posible que estos procesos fomentaran la expansión de las partes del encéfalo más capacitadas para los cálculos sociales complejos^[45]. Sin embargo, el encéfalo desarrollado hace que los partos sean dolorosos y difíciles. Es probable que este problema se resolviera en alguna etapa mediante un cambio en la velocidad de desarrollo del feto. Los niños homíninos nacían menos maduros. Esta solución, sin embargo, supuso que los niños fueran seres cada vez más desvalidos y que necesitaran cuidados crecientes. Tal situación aumentó la importancia de las madres, que quedaron rodeadas por un grupo social de apoyo compuesto por machos y hembras. Este cambio puede estar relacionado con el hecho de que los humanos, a diferencia de los grandes simios (exceptuando al orangután), han perdido el ciclo del celo; en consecuencia, pueden ser sexualmente activos aun cuando no haya posibilidades de concepción. Es posible que la relativa separación de sexualidad y procreación fomentara el fortalecimiento de los lazos entre las parejas de machos y hembras y, por consiguiente, potenciara el papel de los machos en la crianza de los hijos, un cambio que también podría estar relacionado con la reducción del dimorfismo sexual en los humanos^[46]. Fueran cuales fuesen los detalles de estos complejos procesos (y el registro arqueológico es demasiado ambiguo para afirmar algo con seguridad), los homíninos se volvieron más sociables conforme les crecía el encéfalo. Pero vivir en grupos sociales mayores o más complejos exige, como ya hemos visto, habilidades sociales complejas; y, en términos generales, los que tienen más capacidad social son los que tienen más probabilidades de aparearse. Los ciclos de retroacción de esta clase —aumento del tamaño encefálico que estimulaba la complejidad social que a su vez potenciaba el desarrollo encefálico— podrían explicar por qué, en determinados períodos de la evolución homínina, el encéfalo humano (y sobre todo el lóbulo frontal del cerebro) han crecido rápidamente^[47].

Otra posibilidad es que el crecimiento encefálico fuese un efecto secundario de cambios muy pequeños en el calendario evolutivo de los homíninos. Como hemos visto, la neotenia, es decir, la aparición de especies que se parecen a las formas juveniles de las especies de las que parten, se produce a causa de ligeros reajustes en los códigos genéticos que determinan la velocidad y la cronología del desarrollo; el resultado es que casi todos los rasgos de la especie se desarrollan más despacio,

excepto en lo que concierne a la madurez sexual. Así, los humanos adultos tienen la cara achatada y son relativamente lampiños. Los chimpancés poseen también estas cualidades, pero sólo durante la juventud. Conforme crecen, el hocico se estira y se vuelven más peludos. Lo más importante de todo es que los humanos actuales conservan el ritmo de crecimiento encefálico que es característico de los chimpancés jóvenes, y lo conservan durante más tiempo. Esto quiere decir que desarrollan un encéfalo mayor y conservan durante más tiempo el rápido ritmo del aprendizaje de los jóvenes. De este modo, las pequeñas alteraciones producidas en los genes que rigen los procesos del desarrollo pueden influir mucho en la forma adulta de las especies neoténicas.

La última posibilidad es que el crecimiento encefálico rápido tenga que ver con la aparición de formas lingüísticas más desarrolladas. Como en el caso del uso de herramientas, es probable que la capacidad lingüística estuviera estrechamente relacionada con la capacidad encefálica y diera a los individuos con encéfalo ligeramente mayor una significativa ventaja darwiniana. Esto habría acelerado la aparición de encéfalos mayores aún en un bucle de retroacción más evolutivo. Estudiaremos más detenidamente este argumento en el capítulo siguiente.

Fuera cual fuese la causa, sabemos que el encéfalo de los homíninos comenzó a crecer rápidamente desde hace unos 500 000 años. Estos cambios son un indicio claro de que aumentaba la capacidad intelectual y quizás también la capacidad lingüística. Sin embargo, y aunque nos pese, tenemos aún pocos indicios de que hubiera cambios revolucionarios en el estilo de vida de los homíninos. Los homíninos más conocidos de estas últimas especies son los neandertales. Los primeros fósiles neandertales se encontraron en 1856, al este de Düsseldorf, en el valle de Neander. Aunque hace mucho que se incluyó a los neandertales en la misma especie que los humanos actuales (técnicalemente se les denominó *Homo sapiens neanderthalensis*), recientes pruebas genéticas con restos de ADN de fósiles de neandertales dan a entender que la línea humana y la neandertal se separaron hace más de 550 000 años y menos de 700 000^[48].

Los neandertales aparecieron en el registro arqueológico hace unos 130 000 años y desaparecieron hace sólo 25 000. Su encéfalo era tan grande como el de los humanos actuales y quizás incluso mayor, pero su cuerpo era más fuerte y robusto. Tenían habilidad para cazar y esto les permitió ocupar zonas de glaciación no habitadas por los homíninos primitivos, por ejemplo, ciertas partes de Ucrania y de Rusia meridional. Sin embargo, sus métodos eran ineficaces y asistemáticos si se comparan con los de los recolectores actuales e incluso con los humanos del Paleolítico Superior. Su instrumental lítico, descrito normalmente como musterense, es más complejo que el de *erectus*, pero menos variado y preciso que el de los humanos modernos. Hay indicios de arte y ritos funerarios neandertales, lo cual podría significar un uso creciente de la comunicación simbólica (aunque son indicios ambiguos). Y hay pocos rastros que sugieran una complejidad social acentuada.

Como los primeros homíninos, parece que los neandertales vivían básicamente en grupos familiares simples que se relacionaban poco entre sí. No hay indicios de que los neandertales influyeran en el planeta como los humanos actuales.

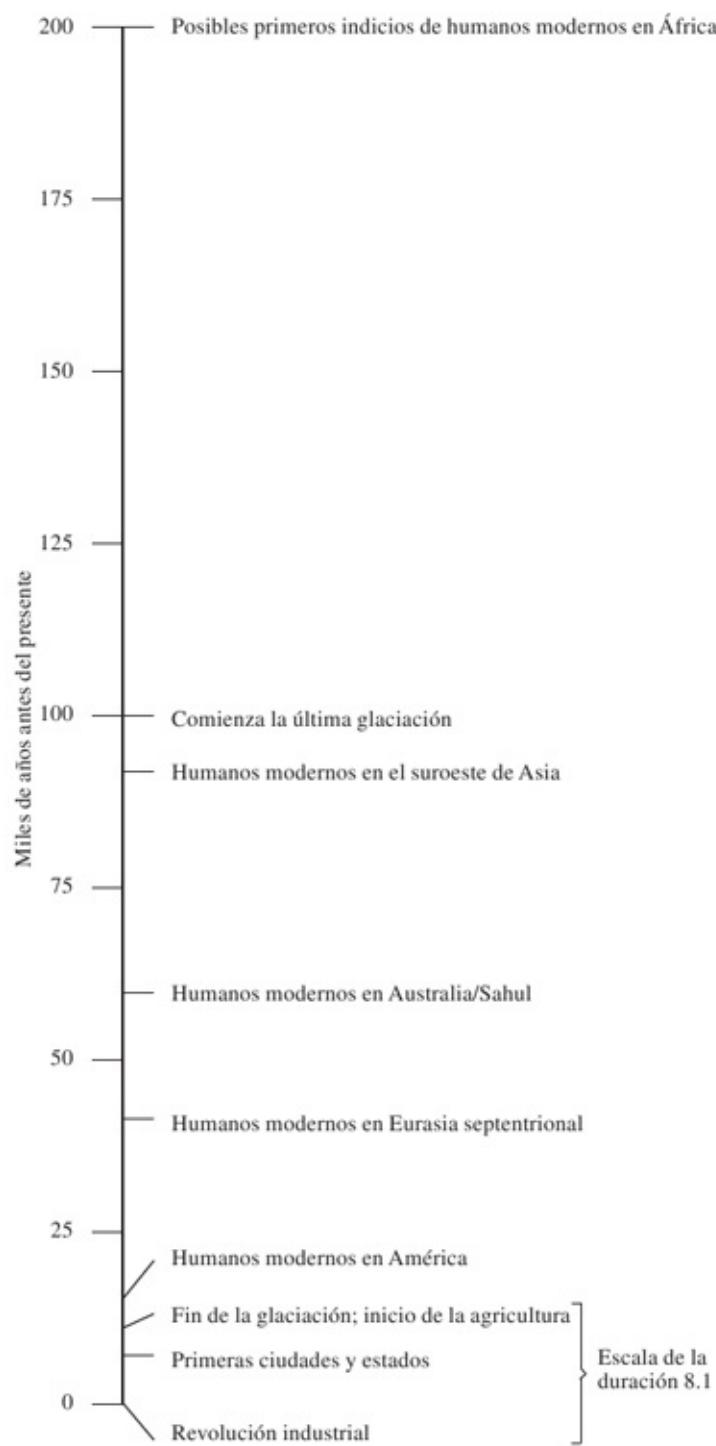
RESUMEN

Mi conclusión es frustrante. Hemos visto que la aparición de los humanos actuales fue un acontecimiento revolucionario en la historia de la Tierra. Y podemos ver todos los elementos de la humanidad actual ensamblándose en el curso de millones de años. Los homíninos desarrollaron un encéfalo mayor, que aumentó su flexibilidad conductual y quizás los puso en el comienzo de la capacitación para el lenguaje simbólico. Aprendieron a usar herramientas de un modo más complejo que los demás primates, lo que les permitió acceder a una dieta más variada. En conjunto, parece que estos cambios capacitaron a *erectus* para explorar más hábitats que las demás especies emparentadas con él. Sin embargo, no hay en el registro fósil ningún indicio claro de que se produjeran cambios revolucionarios en el comportamiento de los homíninos, ni siquiera de los más tardíos, hasta hace aproximadamente 250 000 años. No hemos abandonado aún el reino de la selección natural, en el que el cambio genético está por encima del cambio cultural. Cuesta imaginar de qué modo los homíninos primitivos habrían podido transformar el mundo como ha hecho nuestra especie. Esto es igualmente válido en el caso de los neandertales, una especie notablemente próxima a nosotros en el plano genético, con un encéfalo igual de grande y quizás incluso mayor que el nuestro. Así pues, ¿en qué consiste lo revolucionario de los humanos actuales y de la historia humana? ¿Y de qué forma los cambios descritos en este capítulo prepararon el camino de su revolucionario impacto ecológico? En el capítulo siguiente se verán algunas respuestas posibles.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Hay buenos libros de divulgación sobre el origen de la humanidad, pero el campo cambia tan aprisa que la información impresa se queda anticuada en seguida. Uno de los mejores títulos es *Evolución humana* (1999⁴) de Roger Lewin, pero *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution* (1992), preparada por Steve Jones y otros, es una excelente obra de referencia. Richard Leakey y Donald Johanson están entre los principales expertos en el tema y a ellos se deben libros que se leen fácilmente: Leakey, *El origen de la humanidad* (1994); Johanson y Maitland A. Edey, *Lucy* (1981). *El tercer chimpancé: evolución y futuro del animal humano* (1991) de Jared Diamond es un incisivo repaso de la cuestión y *Human Natures* (2000) de Paul Ehrlich es una revisión de carácter general. Entre las obras generales cabe destacar

Göran Burenhult, ed., *The Illustrated History of Humankind* (1993-1994, 5 vols.); Brian Fagan, *People of the Earth* (2001¹⁰), un manual muy utilizado; Robert Foley, *Humanos antes de la humanidad* (1995); Ian Tattersall, *Hacia el ser humano* (1998); Robert Wenke, *Patterns in Prehistory* (1990³); y Peter Bogucki, *The Origins of Human Society* (1999). *Timewalkers* (1995) de Clive Gamble es uno de los mejores estudios de conjunto sobre el Paleolítico. Sobre la aparición de la conciencia y el pensamiento, Steven Mithen, *Arqueología de la mente* (1996); Terrence Deacon, *The Symbolic Species* (1997); Steven Pinker, *El instinto del lenguaje* (1994) y *Cómo funciona la mente* (1997); William Calvin, *The Ascent of Mind* (1991) y *Cómo piensan los cerebros* (1998); y Nicholas Humphrey, *Una historia de la mente* (1992) son títulos muy valiosos, aunque se trata de un terreno en el que sigue habiendo más especulación que pruebas fehacientes. Los libros de Craig Stanford, *The Hunting Apes* (1999) y *Significant Others* (2001) resumen muy bien lo que la primatología actual tiene que decir de la evolución humana. En *Nonzero* (2000), Robert Wright analiza el papel fundamental de los juegos de suma no cero en la historia humana.



DURACIÓN 7.1. Escala de la historia humana: 200 000 años.

Capítulo 7

PRINCIPIO DE LA HISTORIA HUMANA

APARICIÓN DEL LENGUAJE HUMANO

Muchos rasgos han contribuido a formar ese paquete evolutivo excepcional que es nuestra especie. En el capítulo anterior se decía que el más decisivo fue la aparición del lenguaje simbólico, que puso en marcha el poderoso mecanismo adaptativo del aprendizaje colectivo. Así pues, para entender cuándo empezó realmente la historia humana, hay que comprender cuándo y cómo adquirieron los humanos la predisposición al lenguaje simbólico.

Estamos en un terreno movedizo, porque el lenguaje no deja rastros en el registro fósil; nuestros esfuerzos por entender la aparición del lenguaje humano dependen de los ambiguos testimonios del registro fósil y del abundante relleno teórico que los complementa. No es de extrañar que los expertos discrepen incluso en la cuestión fundamental de cuándo apareció. Henry Plotkin comenta:

Unos dicen que fue hace 100 000 años o menos, otro grupo dice que fue hace más de dos millones de años, mientras que la mayoría oscila en la región comprendida entre 200 000 y 250 000. Es muy improbable que apareciera de modo instantáneo, si por instantáneo entendemos una mutación milagrosa o un período inferior a 1000 años. [...] Lo más probable es que se extendiera durante decenas de miles de años, tal vez durante unos cientos de miles^[1].

Actualmente es normal suponer, de acuerdo con las observaciones del lingüista Noam Chomsky, que el lenguaje, como otras facultades característicamente humanas, depende de la aparición de «módulos» u «órganos» encefálicos con programas para desarrollar habilidades concretas. El cerebro humano, se dice, tiene una potentísima capacidad de cálculo general. Pero además contiene módulos especializados para el lenguaje y otras muchas facultades, entre las que tal vez estén las habilidades sociales, las habilidades tecnológicas y el conocimiento ecológico o ambiental. Estas teorías son tentadoras, sobre todo por lo que se refiere al lenguaje. Los niños humanos adquieren el lenguaje con una velocidad y soltura que no pueden deberse a ningún proceso educativo de ensayo y error y que no tiene parangón entre nuestros parientes más cercanos, los chimpancés. En cierto modo es como si se nos hubiera injertado la capacidad para el lenguaje, y tuvo que ocurrir en fecha reciente, según la perspectiva evolutiva. Si fue así, los interesados por la evolución homínina tendrán que explicar cómo aparece un módulo del lenguaje^[2].

Steven Mithen ha sugerido que de manera repentina —quizá en los últimos cien mil años— se fusionó, en una especie de «big bang» lingüístico, una serie de módulos cerebrales diferenciados hasta entonces, algunos de los cuales pudieron estar presentes en los primeros homíninos^[3]. Pero sigue sin estar claro cómo sucedió esto

exactamente. Esta concepción que ve el encéfalo humano como una especie de navaja de excursionista tropieza con otras dificultades. El encéfalo humano es ciertamente distinto del simio grande y no sólo por el tamaño, pero nadie ha conseguido localizar ningún «módulo del lenguaje». La capacidad lingüística parece que está repartida entre muchas zonas cerebrales cuya situación varía incluso de un individuo a otro. Parece que el lenguaje es fruto de una red de interacciones entre distintas partes del cerebro y no el trabajo de una zona especializada en el lenguaje^[4].

En *The Symbolic Species*, Terrence Deacon ofrece una versión de la aparición del lenguaje que no se basa en la idea de módulos especializados. Su argumentación empieza por el uso de símbolos, el rasgo más característico del lenguaje humano. Las representaciones del mundo exterior pueden darse de tres formas. Las dos más sencillas se basan en la detección de semejanzas (que Deacon llama «iconos») y correlaciones («índices») entre los acontecimientos y las cosas^[5]. Las semejanzas icónicas capacitan a organismos tan simples como las bacterias para reaccionar de un modo ante todas las manifestaciones de calor o de luz y de otro modo ante el frío o la oscuridad. Por otro lado, los perros de Pávlov aprendían que había una correlación entre comer y el sonido de las campanillas porque los dos fenómenos se producían juntos. Los perros relacionaban ambos fenómenos a pesar de que no había una semejanza icónica. Estas dos formas de aprendizaje se basan en correspondencias binarias entre un acontecimiento exterior y un acontecimiento interior. Sin embargo, la tercera forma de representación, la de los «símbolos», no se remite sólo al mundo exterior, sino también a toda la serie de iconos e índices, de manera que pueden emplearse para elaborar mapas interiores de la realidad mucho más complicados.

Pero el pensamiento simbólico es delicado. Sólo puede formarse si los iconos y los índices se mantienen, por así decirlo, en segundo plano, mientras otras partes de la mente exprimen su esencia conceptual. Según Deacon: «el problema que plantea el descubrimiento del símbolo es que hay que desviar la atención de lo concreto hacia lo abstracto, de los vínculos indiciales independientes entre signos y objetos hacia una red organizada de relaciones entre los signos. Para poner en primer plano la lógica de las relaciones fenómeno-fenómeno es importante un alto nivel de redundancia» (p. 402; y véase el cap. 3, *pássim*). Esta maniobra intelectual exige mucha capacidad de cálculo. El razonamiento de Deacon deja claro el tamaño del obstáculo que hubo que salvar para que fuese posible el pensamiento simbólico y esto contribuye a explicar por qué las modalidades simbólicas de representación parecen limitadas al ser humano moderno y su cerebro excepcionalmente grande.

Sin embargo, el tamaño encefálico no basta. El lenguaje simbólico exige muchas otras facultades intelectuales y fisiológicas. Entre ellas figura la capacidad de hacer y procesar rápidamente gestos o sonidos simbólicos y de entender series rápidas de sonidos simbólicos emitidos por otros. ¿Cómo y por qué se desarrolló una serie de habilidades tan coherente y compleja en el breve espacio de unos millones de años? La solución de Deacon es que aparecieron por un proceso de coevolución durante el

que los homíninos aprendieron a aprovechar formas rudimentarias de comunicación simbólica, mientras el lenguaje como tal tendía a adaptarse, con delicadeza y precisión crecientes, a las cambiantes facultades y peculiaridades del cerebro homínino. Estos cambios probablemente entrañaron alguna forma de adaptación de Baldwin, por la que las pequeñas modificaciones conductuales dan una ventaja reproductora significativa a los más hábiles en los nuevos comportamientos. Esta ventaja, a su vez, origina fuertes presiones selectivas en favor de estas habilidades; de este modo, lo que empieza siendo una simple evolución conductual puede, con el tiempo, acabar inscrita tanto en el código genético de la especie como en las estructuras profundas del lenguaje humano^[6]. Es posible que las formas rudimentarias de comunicación simbólica aparecieran a consecuencia de pequeños cambios conductuales equivalentes a los que se observan en los chimpancés actuales sometidos a situaciones experimentales. Pero cuando se vuelven habituales, las nuevas formas de comunicación pueden haber creado ya presiones selectivas mejorando las probabilidades reproductoras de los individuos que, por razones genéticas, eran más hábiles en ellas.

Esta argumentación nos indica que el primer paso hacia el lenguaje simbólico probablemente se dio hace mucho tiempo, el suficiente para que apareciesen los muchos cambios conductuales y genéticos que han hecho posible el lenguaje actual. También nos da a entender que para dar los primeros pasos bastó un encéfalo no muy diferente del de los chimpancés actuales. Pero tras estos pasos iniciales probablemente hubo cambios evolutivos cuyo rasgo más patente (por lo menos en el registro fósil) fue sin duda el aumento en tamaño e importancia del lóbulo frontal, la parte delantera del cerebro. Por último, para encontrar testimonios directos de comunicación simbólica eficiente deberíamos buscar sólo en una etapa posterior de la evolución humana. La versión que nos da Deacon de la tremenda dificultad de la comunicación simbólica sugiere que, cuando el umbral se cruzó, cabría esperar un cambio repentino en la calidad y carácter de la comunicación humana, algo parecido al *big bang* lingüístico de Steven Mithen.

Los primeros pasos hacia el lenguaje simbólico puede que entrañaran una combinación de gestos y sonidos. En condiciones experimentales se puede enseñar a los chimpancés a emplear signos simbólicamente, aunque su capacidad simbolizadora siga siendo limitada, y es posible que los australopitecos hayan sido tan competentes con el lenguaje como los chimpancés actuales^[7]. No obstante, aunque pudiéramos observar a los australopitecos comunicándose entre sí, siempre nos quedaría la duda de si se trataba realmente de «lenguaje». Deacon nos explica:

Es casi seguro que los primeros sistemas simbólicos no fueron lenguajes propiamente dichos. Probablemente ni siquiera los reconoceríamos como lenguajes si hoy los tuviéramos delante, aunque admitiríamos sus notables diferencias con las formas de comunicación de otras especies. Es probable que sus primeras modalidades carecieran de la eficiencia y flexibilidad que atribuimos al lenguaje moderno. [...] Los primeros aprendices de símbolos seguramente llevaban a cabo la mayor parte de su comunicación social mediante comportamientos de llamada-y-ejemplo muy parecidos a los que vemos en nuestros días en los

grandes simios y monos en general. Es probable que la comunicación simbólica fuese sólo una pequeña parte de la comunicación social (p. 378).

Si esta reconstrucción es correcta, da a entender que los australopitecos tenían una capacidad limitada para vivir en un reino simbólico que les habría permitido un nivel modesto de pensamiento abstracto y quizás incluso cierto nivel de conciencia de sí mismos. Sin embargo, tenemos que suponer que, en términos generales, los australopitecos, como casi todos los animales con cerebro, vivían en un mundo de experiencias, dominado por las sensaciones del momento presente, y no en un mundo psíquico como el de los humanos actuales, en cuyo interior se puede evocar a menudo lo que no está presente, incluidos el pasado y el futuro^[8].

Los análisis de cráneos de *Homo habilis* revelan que su encéfalo no se limitaba a ser mayor que el de los australopitecos; además estaba organizado de distinto modo. En concreto hay indicios de esa división del trabajo entre los hemisferios derecho e izquierdo que, en los humanos actuales, se refleja en la «lateralidad». Este rasgo, combinado con un mayor tamaño encefálico, podría reflejar una tendencia selectiva hacia el perfeccionamiento de la capacidad simbólica, dado que el reparto de funciones entre diferentes partes del cerebro podría haber aumentado la capacidad para procesar distintas clases de información en paralelo^[9]. Deacon añade que pudieron haber estado presentes en *habilis* y en homíninos posteriores otras habilidades relacionadas con el lenguaje:

Homo habilis y *Homo erectus* tuvieron seguramente más dominio motor [que los australopitecos] y es probable que también dieran muestras de un relativo descenso laríngeo [que permitía aumentar la gama de sonidos]. El habla de *Homo erectus* era seguramente menos característica y más lenta que el habla moderna, y la de *Homo habilis* tenía probablemente más limitaciones aún. Con todo y con eso, aunque seguramente no tenía ni la velocidad, ni la tesisura, ni la flexibilidad del habla moderna, sin duda poseía muchos rasgos consonantes que encontramos en el habla actual (p. 358).

Pero no deberíamos exagerar el alcance de estas habilidades. La laringe relativamente alta de todos los homíninos primitivos da a entender que no podían producir la gama de sonidos (en particular las vocales) que emplean los humanos modernos. Si hablaban, era sin duda con un vocabulario limitado y dominado por las consonantes. Es posible que los gestos se encargaran todavía de resolver la mayor parte de la comunicación. Como no tenían capacidad para manejar símbolos con la velocidad y destreza de los humanos actuales, su comunicación, comparada con los usos actuales, habría sido lenta y limitada. Y lo más importante de todo, que no vemos aún en el registro fósil ningún rastro de la habilidad adaptativa perfeccionada que se asocia al aprendizaje colectivo.

Sólo en los últimos 500 000 años aproximadamente empezamos a detectar indicios de una orientación más definida hacia el lenguaje simbólico, en combinación con una mayor creatividad adaptativa. Los neandertales tenían el encéfalo tan grande como los humanos (véase la figura 7.1), pero los estudios realizados con la base del cráneo de los neandertales dan a entender que también ellos carecían de capacidad

para manejar sonidos con la complejidad exigida por los idiomas humanos actuales. Y esto, más la patente ausencia de indicios inequívocos de una actividad simbólica extensiva, nos induce a pensar que los neandertales no utilizaban ninguna forma totalmente desarrollada de lenguaje, aunque su presencia en algunas zonas heladas de Eurasia demuestra que tenían una capacidad mejorada para adaptarse a nuevos medios. No obstante, el rápido crecimiento del tamaño encefálico entre diversas especies humanas durante los últimos 500 000 años indica que había en marcha un proceso de coevolución acelerada en el que se estaban desarrollando juntas varias facultades fundamentales para el lenguaje simbólico. Entre ellas tal vez estuviesen el descenso de la laringe (necesario para posibilitar el manejo de sonidos más complejos), el aumento de la especialización lateral del cerebro y el aumento de la capacidad para dominar la respiración y para reconocer y analizar sonidos con rapidez y precisión^[10].

¿CUÁNDO EMPIEZA LA HISTORIA HUMANA?

¿Cuándo percibimos el primer indicio de la existencia de humanos que no sólo parezcan actuales sino que se comporten y se comuniquen como los humanos actuales? Es una de las preguntas más importantes que puede formular un historiador, porque por lo que se pregunta en realidad es por el origen de la historia humana.

Hasta hace poco se barajaban dos respuestas posibles. Una está actualmente en posición minoritaria, aunque algunos investigadores como Milford Wolpoff y Alan Thorne siguen defendiéndola con tesón. Según estos expertos, los humanos evolucionaron lentamente hacia formas modernas en toda África y en toda Eurasia durante casi un millón de años. Esto quiere decir que todos los restos de homíninos con menos de un millón de años deben considerarse muestras de una sola especie en evolución, con variantes regionales, algunos de cuyos rasgos, como el color de la piel y las características faciales, perduran hasta nuestros días. Desde este punto de vista, las poblaciones regionales siguieron procreando entre sí y en consecuencia nunca dejaron de ser parte de una sola especie^[11]. Si esta descripción es cierta, debemos concluir diciendo que la historia humana tiene un millón de años, aunque sus rasgos más característicos no se dejan ver hasta fechas posteriores. Pero este método tropieza con algunas dificultades. La gran variedad de restos fósiles del último millón de años, la amplitud de la región abarcada y el hecho de que muy pocos individuos pudieran recorrer distancias largas impiden que podamos considerarlos ejemplares de una sola especie en evolución.



FIGURA 7.1. Cráneos neandertal y humano. El de la izquierda es neandertal (de La Ferrassie); el de la derecha es de un humano moderno (de CroMagnon). Los testimonios genéticos dan a entender que los humanos y los neandertales están menos relacionados de lo que se pensaba. Según Chris Stringer y Clive Gamble, *In Search of Neanderthals*, Thames and Hudson, Londres, 1993, p. 185.

El otro enfoque, que hoy goza de más popularidad, dice que los humanos modernos aparecieron de manera más repentina, en algún lugar de África, hace entre 100 000 y 250 000 años^[12]. El testimonio fundamental para llegar a esta conclusión es de índole genética, aunque también es compatible con los últimos hallazgos fósiles. Los análisis del material genético de los humanos actuales revela que nos diferenciamos mucho menos que las vecinas poblaciones de los gorilas. Esto da a entender que nuestra especie es muy joven, que quizá tenga sólo 200 000 años de antigüedad. Si hubiéramos estado rodando más milenios, habría transcurrido tiempo suficiente para que se acumulase más variedad genética dentro de las poblaciones regionales y entre ellas. Además, casi toda la variedad genética de los humanos modernos se da en las poblaciones africanas, lo que indica que es en África donde más tiempo vivieron los humanos. Así pues, es probable que fuese en África donde aparecieron los humanos actuales (*Homo sapiens*). En realidad, esta teoría viene a decir que los humanos vivieron exclusivamente en África por lo menos durante la mitad de su historia.

Esta teoría de la aparición relativamente repentina de nuestra especie coincide con lo que sabemos de las pautas características de la evolución. Los humanos modernos, como muchas especies homíninas, aparecieron probablemente en virtud de un proceso que los biólogos llaman *especiación alopátrica*. Cuando las poblaciones de una especie ocupan un territorio muy vasto, es normal que algunos grupos queden aislados. A lo mejor entran en un valle, o cruzan una montaña, o un río, que luego impide el contacto con otros miembros de la misma especie. Si dejan de aparearse

con otras poblaciones de la misma especie, pronto empezarán a diferenciarse genéticamente de la población de origen. Si la población aislada es pequeña y las condiciones ecológicas de la nueva patria son muy distintas de las de la antigua, podrían diferenciarse muy aprisa, porque las presiones selectivas son intensas y los cambios genéticos favorables se difunden con más rapidez en las poblaciones pequeñas. Además, por razones puramente estadísticas es improbable que una población pequeña sea totalmente típica de la población de origen y en ella las desviaciones se pueden multiplicar muy aprisa. (Es lo que se conoce con el nombre de *efecto fundador*). Por todos estos motivos es frecuente que aparezcan rápidamente especies nuevas en las pequeñas poblaciones que viven en la periferia del ámbito abarcado por la especie de origen. Si es así como apareció nuestra especie, todos los humanos actuales descendemos de un grupo pequeño y aislado que vivió en África hace entre 100 000 y 200 000 años. Si estaba en el sur del continente, entonces estaba en el límite extremo del ámbito abarcado por las poblaciones homíninas del Paleolítico Medio (la era que transcurrió entre 200 000 y 50 000 años antes del presente).

Pero también esta teoría plantea problemas, ya que casi todos sus defensores admiten que los primeros indicios del comportamiento característicamente moderno, incluido el lenguaje humano, no aparecen hasta el Paleolítico Superior, que empezó hace 50 000 años. Ciertos testimonios arqueológicos de Eurasia y Australia dan a entender que hace 50 000 años se produjeron cambios decisivos en el comportamiento humano. Los marcadores que los arqueólogos han tomado como signos de comportamiento humano moderno son fundamentalmente de cuatro clases. En primer lugar, las nuevas adaptaciones ecológicas, por ejemplo la entrada en entornos no explorados hasta entonces. En segundo lugar, las nuevas tecnologías, por ejemplo la aparición de hojas pequeñas, hechas con gran precisión, a veces estandarizadas y tal vez con empuñadura; y el uso de materiales nuevos como el hueso; progresos, en resumidas cuentas, que probablemente aumentaron la capacidad para explorar nuevos entornos. En tercer lugar, los indicios de mayor organización social y económica que ponen de manifiesto la existencia de redes de intercambio que abarcan un amplio territorio; indicios de que ha mejorado la habilidad para cazar animales grandes; e indicios de que ha aumentado la capacidad organizativa y planificadora. Por último, y en cierto modo el factor más importante, los testimonios indirectos de la actividad simbólica, por ejemplo la aparición de alguna forma de arte, que seguramente suponía el uso de lenguaje simbólico. Basándose en los testimonios relacionados con estas modalidades de cambio, muchos arqueólogos y prehistoriadores hablan de una «revolución del Paleolítico Superior»: una explosión de actividad creativa tardía y notablemente súbita que empezó hace unos 50 000 años y que señala el verdadero comienzo de la historia humana.

Pero ¿por qué parece haber un hiato entre la aparición de los humanos modernos y la aparición de los comportamientos modernos? Esto sigue siendo un misterio

sugerente. Algunos investigadores han llegado a suponer que los cambios cruciales se produjeron en las redes cerebrales hace menos de 100 000 años; en cuyo caso, el verdadero comienzo de la historia humana sería posterior a lo que sugieren los testimonios genéticos. En fecha reciente, sin embargo, dos paleontólogas estadounidenses, Sally McBrearty y Alison Brooks, han propuesto una solución elegante, basada sobre todo en un minucioso análisis de los testimonios arqueológicos africanos. Su hipótesis coincide perfectamente con la descripción del origen del lenguaje que se ha dado más arriba, ya que viene a decir que un proceso de evolución genética, de los que conocen los biólogos, se transformó hace unos 250 000 años en un proceso de evolución cultural de los que conocen los historiadores. Lo que sigue se basa sobre todo en su versión revisada de la historia de los primeros humanos de África^[13].

En «The Revolution that Wasn't», McBrearty y Brooks ponen de manifiesto que los cambios súbitos que se ven en los testimonios euroasiáticos y australianos no se perciben en los testimonios de África. En este continente, dicen las dos paleontólogas, hay testimonios de comportamiento totalmente humano muy anteriores al Paleolítico Superior, tal vez de hace 250 000 años, pero aparecen de manera asistemática y gradual. Los indicios que corroboran el uso de hojas pequeñas, a veces con empuñadura, y el uso de muelas y de pigmentos son de fecha muy temprana, y los testimonios de otras tecnologías innovadoras —la pesca, ciertas formas de minería, intercambios de productos a larga distancia, el uso de herramientas de hueso, las emigraciones a nuevos entornos— aparecen también antes que en Eurasia. Ni los cambios culturales ni los anatómicos aparecen como un «big bang»; en realidad, aparecen de manera más irregular.

No hubo ninguna «revolución humana» en África. Más bien [...] se fueron acumulando rasgos nuevos de forma escalonada. Distintos elementos de las bases sociales, económicas y de subsistencia cambiaron a diferente velocidad y aparecieron en diferentes momentos y lugares. Describimos testimonios de la EPM [Edad de Piedra Media, hacia 250 000-50 000 a. p.] africana para apoyar la tesis de que tanto la anatomía como el comportamiento humanos pasaron de manera intermitente de un modelo arcaico a otro más moderno en un período de más de 200 000 años (p. 458).

En vez de una revolución del Paleolítico Superior, lo que se ve en África es un lento proceso de cambio que parece reflejar la «expansión irregular de un cuerpo de conocimientos comunes» entre muchos grupos pequeños y en un territorio muy vasto (p. 531). Según las dos paleontólogas, es lo que cabría esperar si los humanos actuales vivieran en grupos pequeños y desarrollaran estas habilidades comunidad por comunidad.

Además, prosiguen, los primeros cambios coinciden con la aparición de una especie homínina nueva, recientemente bautizada *Homo helmei*, que está tan cerca de los humanos actuales que podríamos vernos obligados a incluir a sus miembros en la especie *Homo sapiens*. En África hay restos inequívocos de *sapiens* desde hace 130 000 años y quizá desde hace 190 000, pero no hay ninguna ruptura brusca entre

las dos especies (p. 455). En general, las dos paleontólogas sostienen que en África, a diferencia del caso euroasiático, los testimonios genéticos y conductuales se combinan y dan una versión coherente de cómo se originó nuestra especie y empezó a dar muestras de la creatividad ecológica que la caracteriza.

Tanto *Homo helmei* como los primeros miembros de *Homo sapiens* están relacionados con la tecnología de la EPM, con lo que es evidente que el principal viraje conductual hacia la modernidad está en la frontera achelense-EPM, hace 250 000-300 000 años, y no en la frontera EPM-EPT [Edad de Piedra Tardía], hace 50 000-40 000 años, como suponen muchos. Ya hemos visto que en la EPM hay presentes muchos comportamientos complejos. Esto supone la existencia de un aumento de la capacidad cognitiva con la aparición de *Homo helmei* y la presencia de semejanzas conductuales y de estrechas relaciones filogenéticas entre *helmei* y *sapiens*. Podría decirse que sería más correcto asignar a *Homo sapiens* los especímenes que aquí hemos considerado de *Homo helmei* y que éste debería subsumirse en aquél. Si es lícito hacerlo, nuestra especie tiene una antigüedad de 250 000-300 000 años y su aparición coincide con la de la tecnología de la EPM (p. 529).

Si McBrearty y Brooks están en lo cierto, podemos decir que la historia humana empezó en África hace entre 250 000 y 300 000 años.

EL ORIGEN AFRICANO: LOS PRIMEROS 200 000 AÑOS

Hasta hace 100 000 años sólo había humanos en África. En África exploraron nuevas tecnologías y formas de vida y ocuparon entornos nuevos, entre ellos los bosques y los desiertos. Sólo después de 60 000 a. p. empezaron los humanos a adentrarse en regiones no colonizadas por homíninos anteriores, por ejemplo en Australia (que exigía capacidad para cruzar un buen trecho de agua), en la Siberia helada (que exigía capacidad para adaptarse al frío más crudo) y, con el tiempo, en América del Norte y del Sur.

Los testimonios de las fases más antiguas (y largas) de la historia humana en África son provocativamente escasos. En principio sabemos que cuando por fin apareció el lenguaje, cada comunidad dio inicio a su propia historia, que se llenó con leyendas épicas, nombres míticos, catástrofes y triunfos. Pero como no podemos ver esas historias, nos limitamos a consignar sus tendencias generales, prescindiendo de los detalles, que eran lo que interesaba a los individuos. Es poco lo que podemos hacer en este sentido, salvo emprender periódicamente el esfuerzo imaginativo de recordar que cada comunidad tenía su propia historia, con los detalles correspondientes, y que esa historia estaba tan viva para los miembros de la comunidad como cualquier historia actual que se base en fuentes escritas.

Estas generalizaciones son válidas para todo ese período de la historia humana que tradicionalmente se ha venido llamando *prehistoria*, precisamente porque carece de fuentes escritas. Pero también son particularmente válidas para las primeras épocas de la historia humana. En África ha habido menos excavaciones arqueológicas que en Europa, las dataciones son difíciles y, como de costumbre, cuesta explicar el

comportamiento basándose en la arqueología. Además, es lógico suponer que en aquella temprana época los procesos de aprendizaje colectivo avanzaban muy despacio; no deberíamos buscar todavía desarrollos espectaculares de virtuosismo tecnológico. Como señalan McBrearty y Brooks: «Las primeras poblaciones de humanos modernos del Pleistoceno Medio africano eran relativamente pequeñas y estaban dispersas, los cambios eran temporales y los contactos entre los grupos intermitentes. Esto produjo un progreso escalonado, una composición gradual de la moderna adaptación humana» (p. 529).

A pesar de estos problemas, McBrearty y Brooks defienden con ahínco que hace 250 000 años aparecieron en África todos los cambios cruciales que hasta entonces se consideraban pruebas de una revolución en el Paleolítico Superior (véase la figura 7.2). Los signos más antiguos y más claros de los nuevos comportamientos se pueden ver en la cambiante tecnología lítica. Más asombrosa es la desaparición, desde 250 000 a. p., de la tecnología achelense asociada a varias formas de *Homo ergaster*. En su lugar aparecen nuevas y más delicadas clases de herramientas líticas. Es posible que algunas tuvieran empuñadura, para poder utilizarse como lanzas o armas arrojadizas, una innovación que seguramente permitió cazar animales grandes con más seguridad y precisión. Al menos en una hoja primitiva se han encontrado rastros de las resinas adhesivas que los cazadores modernos utilizan para fijar la hoja en el asta y muchas hojas primitivas están hechas como si debieran encajar en una empuñadura^[14]. Además, hay señales de explotación a pequeña escala de recursos como la pesca y la recolección de moluscos. Estas tecnologías no aparecen fuera de África hasta aproximadamente después de 50 000 a. p.

Los humanos también se estaban adaptando a nuevos entornos, en concreto a las regiones desérticas y forestales no tocadas por los homíninos anteriores^[15]. Aparecen indicios de formas de organización social y de «culturas» locales en la variadísima gama de estilos que encontramos en el instrumental lítico. Asimismo, hay indicios de formas complejas de intercambio que a veces abarcan áreas de cientos de kilómetros. Este comportamiento da a entender que, aunque los humanos vivían casi todo el tiempo en familias integradas en grupúsculos, a veces tenían contactos cordiales con otros grupos que en ocasiones estaban muy alejados. La creación de estas redes (Robert Wright las llama «cerebros regionales gigantes»)^[16] señala una ruptura radical con lo que sabemos de la vida social de los grandes simios. Es tentador interpretarlo como un testimonio indirecto de la aparición de formas perfeccionadas de comunicación. Hay testimonios más directos de la gestación de destrezas lingüísticas modernas en la aparición de objetos ornamentales, así como en las piedras de moler que sin duda se utilizaban para pulverizar pigmentos. Ambas categorías se han encontrado en África con una antigüedad muy anterior al Paleolítico Superior. Son los testimonios que abogan más claramente por la existencia de una actividad simbólica, de un pensamiento simbólico y, por lo tanto, de un lenguaje simbólico.

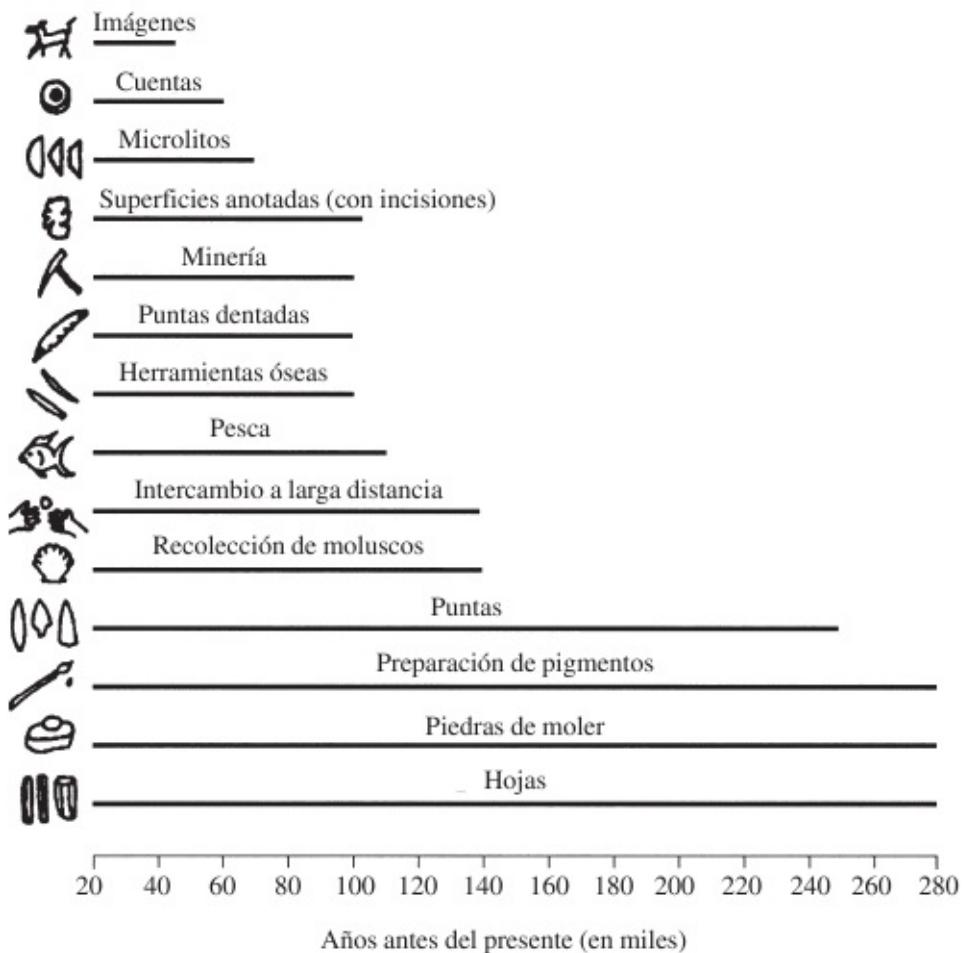


FIGURA 7.2. Innovaciones conductuales de la Edad de Piedra Media africana. Adaptado, con autorización de las autoras, de Sally McBrearty y Alison S. Brooks, «The Revolution that Wasn't: A New Interpretation of the Origin of Modern Human Behaviour», *Journal of Human Evolution* 39 (2000), p. 530.

Ninguno de estos testimonios es inequívoco, pero en conjunto nos ayudan a recomponer las primeras etapas del proceso de aprendizaje colectivo que ha culminado, 250 000 años después, en el mundo que conocemos en la actualidad. Y dan a entender que el proceso en cuestión estuvo directamente relacionado con la aparición de otras especies de homíninos, capaces de servirse del lenguaje simbólico.

ALGUNAS LEYES DEL APRENDIZAJE COLECTIVO

Gracias al lenguaje simbólico, los humanos, a diferencia de otras especies estrechamente relacionadas con ellos, pudieron intercambiar información y aprender juntos. ¿Cómo generó esta colectivización del conocimiento los cambios a largo plazo que diferencian la historia humana de la de especies afines? Para analizar lo que es característico de la historia humana tenemos que concentrarnos, por encima de todo, en los factores que determinaron el ritmo y la geografía de los procesos de aprendizaje colectivo. ¿Por qué la innovación ecológica fue más lenta en unas regiones y más rápida en otras? Si, como he dicho más arriba, el aprendizaje

colectivo es el rasgo característico más importante de la historia humana, salta a la vista que tenemos que tener muy presentes estas preguntas.

En la práctica, como es natural, los procesos de aprendizaje colectivo eran tan imprevisibles como cualquier proceso creativo. Pero vale la pena señalar de entrada algunas leyes generales, porque ellas mismas nos indicarán qué cambios tuvieron más probabilidades de acelerar o frenar la acumulación de conocimientos ecológicos relevantes, esos conocimientos que, con el paso del tiempo, han dado a los humanos la extraordinaria capacidad que tienen para controlar el mundo material. Destacan dos factores: el volumen y variedad de la información que se acumulaba y la eficacia y velocidad con que se compartía.

El primer factor decisivo es el tamaño de las redes de información o la cantidad de comunidades e individuos que podían compartir la información^[17]. En principio cabe esperar que la sinergia potencial de una red de intercambios informativos aumente a velocidad creciente conforme crece la cantidad y diversidad de los individuos que intercambian información^[18]. Tal vez se entienda mejor esta ley si nos remitimos a una red ideal en la que hay una cantidad de nodos (la teoría de grafos los llama vértices, pero para nuestros fines son *individuos* o *comunidades*) y la sinergia intelectual total es proporcional a la cantidad de vínculos posibles entre los nodos (*bordes* en la teoría de grafos). A partir de aquí, las operaciones son sencillas. El número de vínculos posibles entre 2 nodos es 1, entre 3 es 3, y entre 4 es 6; en general, si tenemos n número de nodos, el número total de vínculos será $[n \times (n - 1)]/2$. En realidad, no todas las conexiones posibles llegan a ser reales. Pero lo importante es que el número de conexiones *posibles* (y, por lo tanto, la sinergia informativa *potencial* de toda la red) aumenta más aprisa que el número de nodos, y la diferencia entre las dos velocidades aumenta conforme crece el número de nodos. Así, mientras las redes aumentan de tamaño, su sinergia intelectual potencial aumenta más aprisa: «Poblaciones mayores y más densas igual a progreso tecnológico más rápido^[19]».

La variedad de información acumulada podría ser tan importante como el volumen. Las comunidades cercanas que viven de modo parecido deberían poder ayudarse a poner a punto tecnologías y habilidades, pero es improbable que introduzcan ideas radicalmente innovadoras. Más probable es que las formas fundamentalmente nuevas se intercambien sólo cuando comunidades que viven de modo diferente tienen contactos señalados. En realidad, las diferencias en el estilo de vida tienden a levantar barreras que impiden el contacto, pero a veces, como en ciertas formas de comercio, no ocurre así. La verdad es que en las redes de información con grupos dispares es más que probable que encontremos procesos de aprendizaje colectivo que acaban por producir cambios significativos en la tecnología y el estilo de vida.

Este modelo abstracto da a entender que es importante describir el tamaño y la variedad de las redes informativas, las regiones en las que puede intercambiarse

información. Además sugiere otro importante principio: conforme crecen y se diversifican las redes, hay que esperar no sólo una acumulación de conocimientos nuevos, sino una aceleración en dicha acumulación. Y al nivel más general esto es exactamente lo que observamos en largos períodos de la historia humana.

El segundo factor decisivo es la eficacia con que se intercambia la información. Una cosa es definir el tamaño de una región en que puede intercambiarse información. Pero dentro de esa región pueden variar mucho el ritmo y la regularidad de los intercambios. La eficacia de los intercambios informativos refleja sobre todo el carácter y la regularidad de los contactos y de los intercambios entre las comunidades. Y éstos pueden estar determinados por las convenciones sociales, los factores geográficos y las tecnologías de la comunicación y el transporte. Dentro de una red dada, los procesos de aprendizaje colectivo pueden ser más o menos potentes según las regiones; así pues, podemos imaginar regiones en que se acumula más información con más variedad y con mayores índices de concentración que en otras regiones.

Estos argumentos dan a entender un útil principio general: el tamaño, la diversidad y la eficacia de las redes informativas deberían ser un determinante a gran escala de los índices de innovación ecológica. En los capítulos que siguen trataremos de rastrear la cambiante sinergia de los procesos de aprendizaje colectivo analizando el tamaño y la variedad de redes informativas de diferentes partes el mundo, así como la variable eficacia con que se acumuló la información en esas redes.

En el Paleolítico, la existencia de pequeños grupos que tenían escaso contacto entre sí garantizaba la lentitud de las consecuencias de los intercambios de información ecológica. Era poco probable que los individuos, en el curso de toda una vida, conocieran a más de doscientos o trescientos semejantes; y la mayor parte de dicha vida seguramente la pasaban en compañía de los diez o treinta individuos que componían su grupo familiar. La cantidad de información que podía intercambiarse en estas redes era limitada a todas luces; estas limitaciones contribuyen a explicar lo que para nosotros es el paso de tortuga de los cambios tecnológicos del Paleolítico, aunque comparado con lo que era normal entre los homíninos fue en realidad un cambio tecnológico rápido.

Hay otros factores que también podían frenar la velocidad del cambio. Las sociedades compuestas por muchas comunidades pequeñas tienden a tener una gran diversidad lingüística. En la Australia indígena, una población de unos cientos de miles de individuos podía hablar perfectamente 200 idiomas. Aunque relacionados entre sí, estos idiomas eran diferentes y sólo los vecinos próximos podrían comunicarse sin complicaciones. En la California de 1750 se hablaban más de 63 y probablemente hasta 80 idiomas, y en la Papúa y Nueva Guinea de nuestros días hay casi 850 lenguas vivas^[20]. También las diferencias culturales podían limitar el intercambio de información ecológica y de otros datos, al igual que las distancias largas entre grupos vecinos en un mundo en que cada grupo necesitaba para

sobrevivir un territorio muy grande. En general, no debería sorprendernos que las nuevas tecnologías y las nuevas adaptaciones llegaran tan despacio en el Paleolítico. Y aparecieron a nivel local, lo que quiere decir que las primeras sociedades humanas fueron probablemente muy variadas: cada grupo hacía sus propios experimentos adaptativos con relativa independencia y las oportunidades para acumular descubrimientos tecnológicos seguían siendo limitadas.

ESTILOS DE VIDA DEL PALEOLÍTICO

Todo el que quiera saber cómo vivían los primeros humanos tendrá que basarse en un montón de conjeturas. Y los estudios sobre las comunidades recolectoras actuales dan a entender que los detalles del estilo de vida variaban mucho de un grupo a otro. No obstante, podemos hacer algunas observaciones generales con bastante seguridad^[21]. La pequeña cantidad de restos fósiles, más lo que sabemos por la observación de los recolectores actuales, nos indica que los humanos primitivos eran escasos y vivían en comunidades pequeñas. No hay forma de saber el tamaño concreto de estas comunidades. Pero parece lógico suponer que, durante un tiempo, las poblaciones humanas fueron parecidas a las de los chimpancés actuales, y sin duda con importantes fluctuaciones hacia arriba y hacia abajo.

Estamos convencidos de que los grupos eran pequeños porque todas las tecnologías recolectoras de nuestros días necesitan vastas extensiones de tierra para alimentar a poblaciones pequeñas. A principios del Holoceno europeo, por ejemplo, la recolección podía alimentar a un individuo por cada 10 kilómetros cuadrados, mientras que las primeras formas de agricultura podían alimentar a cincuenta o cien^[22]. No tenemos motivos para pensar que las comunidades paleolíticas fueran más eficaces en este aspecto. Los recolectores actuales son básicamente nómadas y visitan diferentes partes del territorio propio según la época del año. Por lo general, su dieta depende en buena medida de los alimentos que recogen, frutos secos, tubérculos y otros productos vegetales, así como animales pequeños de varias clases. Además, casi todos cazan animales grandes y valoran mucho su carne, aunque no siempre la consiguen; en consecuencia, la base de su dieta se compone habitualmente de productos más pequeños y de obtención segura. Llevar la vida de un recolector exige amplios conocimientos sobre los recursos disponibles, sobre las pautas migratorias de aves y animales terrestres, y sobre los ciclos vitales de plantas determinadas, de modo que sería un error subestimar las habilidades ecológicas de estas comunidades.

¿Vivían bien los humanos del Paleolítico? Un moderno habitante de ciudad que fuera transportado a aquel mundo no lo tendría fácil, pero la suposición, tan divulgada en otros tiempos, de que la vida de los recolectores era dura e inclemente es una exageración. Si un siberiano del Paleolítico fuera transportado de súbito al

siglo XXI seguramente encontraría la vida actual igual de difícil, aunque desde otro punto de vista. En un trabajo deliberadamente provocativo que se publicó en 1972, el antropólogo Marshall Sahlins decía que el mundo de la Edad de Piedra fue «la primera sociedad opulenta». Aducía que una sociedad opulenta es «aquella en que todas las necesidades materiales de los individuos se satisfacen fácilmente» e indicaba que, según el baremo que se utilice, las sociedades de la Edad de Piedra encajan en esta descripción mejor que las modernas sociedades industriales^[23]. Sahlins señalaba que la prosperidad podía alcanzarse o produciendo más mercancías para satisfacer más deseos o limitando los deseos a lo que había disponible (el «camino zen hacia la prosperidad»). Sirviéndose de datos antropológicos actuales para entender la vida de las sociedades de la Edad de Piedra, admite que los niveles de consumo material eran entonces indiscutiblemente bajos. La verdad es que el nomadismo, por su propia naturaleza, no anima a acumular bienes materiales, ya que la necesidad de llevar a cuestas todo lo que se posee limita los deseos de atesorar objetos. Los estudios sobre las sociedades nómadas actuales dan a entender que pueden frenar deliberadamente el crecimiento demográfico, por ejemplo prolongando el período de lactancia de los niños (lo cual inhibe la ovulación) o recurriendo a métodos más brutales, como abandonar a los niños o a los ancianos que ya no pueden desplazarse con el resto de la comunidad. Las comunidades recolectoras podrían haber limitado sus necesidades con métodos así.

Pero Sahlins argüía que, en estas comunidades, los niveles normales de consumo eran más que adecuados para satisfacer las necesidades básicas. Expertos en explotar una amplísima gama de productos, los recolectores no solían pasar estrecheces, salvo en las regiones más áridas. Y el nomadismo en grupos pequeños aportaba variedad y ahorraba las enfermedades características de las comunidades sedentarias, mayores por definición. Más asombroso aún es que los cálculos de los antropólogos para averiguar cuánto tiempo tienen que «trabajar» para vivir los recolectores actuales indican que, lejos de matarse para sobrevivir, trabajan menos que la mayoría de los asalariados y trabajadores domésticos de las sociedades industriales modernas. Estudios realizados entre comunidades tradicionales de la Tierra de Arnhem han puesto de manifiesto que «no trabajan mucho. La jornada media que empleaba un individuo en conseguir y prepararse la comida oscilaba entre cuatro y cinco horas. Además, no trabajan ininterrumpidamente. La búsqueda de la subsistencia era muy irregular. Se abandonaba el trabajo cuando los individuos conseguían lo que buscaban en cantidad suficiente, lo cual permitía tener mucho tiempo libre^[24]». Había en abundancia lo que es una tentación llamar tiempo de «ocio». Los investigadores que han estudiado otras comunidades recolectoras han llegado a conclusiones parecidas. Y si tenemos en cuenta que los recolectores actuales han sido por lo general desplazados de las regiones más ricas, es muy probable que las jornadas laborales de los recolectores del Paleolítico Superior fueran más cortas aún. Ha habido muchos intentos de radiografiar los cambios de los ritmos de trabajo en el desarrollo de las

sociedades desde el Paleolítico hasta nuestros días. Los resultados indican que la jornada laboral de los adultos de ambos性 ha pasado de las 6 horas de los recolectores, a las 6,75 de los horticultores, a las 9 de los dedicados a la agricultura intensiva y a las poco menos de 9 de los habitantes de las ciudades industrializadas actuales. El tiempo total dedicado al «mantenimiento de la casa» ha aumentado con la estabilidad de la residencia y el enriquecimiento de su contenido, pero la proporción de este mantenimiento por cabeza ha descendido conforme han crecido las sociedades. El tiempo invertido en fabricar y reparar objetos domésticos se reduce conforme las casas adquieren más bienes de especialistas exteriores^[25].

En términos generales, la conclusión de Sahlins es que la sociedad de la Edad de Piedra fue un mundo de abundancia, en el sentido de que casi todas las necesidades básicas podían satisfacerse con el mínimo esfuerzo. Es posible que el trabajo de Sahlins fuera una exageración deliberada para rebatir la opinión tradicional de que el progreso de la humanidad consistió en salir de la etapa recolectora para pasar a la agrícola y luego a la industrial. Hay poco fundamento para creer que la esperanza de vida en las sociedades de la Edad de Piedra rebasara los 30 o 40 años y es indudable que muchos individuos morían por causas que hoy habrían podido evitarse. Pero no se puede pasar por alto la paradoja elemental que subrayó Sahlins: la creciente «productividad» de las sociedades humanas ha engendrado sociedades con más necesidades y menos tiempo libre para gozar de lo que se tiene. Los crecientes niveles de productividad han ido alimentando a poblaciones cada vez mayores, pero costaría demostrar que hayan generado mayores niveles de satisfacción humana. Los humanos, colectivamente, se han perfeccionado en la extracción de recursos del entorno, pero no podemos traducir automáticamente este cambio por «mejora» o «progreso».

Los primeros humanos vivieron probablemente, como casi todos los homíninos, en grupos familiares de diez a veinte individuos que se desplazaban juntos. La comunidad en la que casi todos vivían la mayor parte del tiempo era la familia. Como (por ser humanos) hablaban entre sí, podemos estar seguros de que tenían algún concepto de lo que era la «familia» o la «parentela». Todos los primates viven en grupos que de un modo general podemos llamar familias, pero sólo con la aparición del lenguaje simbólico fue posible la comunicación de ideas sobre la familia o la parentela. Esto quiere decir que el parentesco (está basado en vínculos de sangre o en vínculos de convención como el matrimonio) fue el principio organizador básico de las redes sociales humanas en los comienzos de nuestra historia. Con su sencillo pero influyente modelo de estructuras sociales, Eric Wolf ha señalado que las sociedades «organizadas por parentescos» constituyen una clase fundamental de comunidad humana, una clase que sobrevive en el mundo moderno con formas muy variadas^[26]. Pero los grupos familiares no solían vivir totalmente aislados. Al igual que las familias actuales, normalmente formaban parte de una red de comunidades emparentadas que se reunían de manera periódica, en especial cuando las provisiones

eran abundantes y podían alimentar a un gran número de individuos. En estos encuentros (conocidos en Australia con el nombre de *corroborees*), los grupos seguramente intercambiaban información e incluso personas con otros grupos donde como mínimo había algunos parientes próximos. En el seno de estas redes, cierto sentido del parentesco podía definir quién era cada individuo, en quién podía confiar y de quién tenía que recelar.

Las comparaciones con los tiempos actuales dan a entender que el sentido paleolítico del parentesco estaba inmerso en una serie de relaciones económicas características de aquellos tiempos. Quizá podamos hacernos una idea si imaginamos un equivalente social de la ley de la gravedad. Los humanos son criaturas muy sociables; cada individuo ejerce una suave atracción gravitatoria sobre los demás individuos, motivo por el cual los humanos viven en grupos. Pero cada grupo también tira suavemente de las ideas, de los bienes y de los individuos de los grupos vecinos. Hemos visto que incluso los chimpancés (que son muy sociables) intercambian bienes muypreciados, por ejemplo la carne, como forma de afianzar relaciones dentro de la comunidad. Entre los humanos, el intercambio de información, bienes y favores de todas clases forma la gravedad social que mantiene estrechamente unidos a grupos como las familias. Estos intercambios no deben interpretarse como comercio en el sentido moderno, sino más bien como una forma de dar regalos. En el mundo cristiano, la Navidad es un eco moderno de una práctica en la que los regalos en cuanto tales (calcetines, corbatas, perfumes baratos) son menos importantes que la relación social que simbolizan. En este contexto, los regalos no se intercambian en principio para obtener un beneficio económico, sino sobre todo para mantener buenas relaciones. Los antropólogos llaman *reciprocidad* al principio que hay detrás de estos intercambios^[27]. La reciprocidad consiste en establecer buenas relaciones con el intercambio de regalos para obtener una especie de garantía para el futuro. Robert Wright cita a un cronista de la vida esquimal que viene muy al caso: «El mejor lugar para guardar [un esquimal] lo que sobra es el estómago ajeno^[28]».

Lo contrario de la reciprocidad es la venganza. Donde la reciprocidad no puede impedir el conflicto, los individuos o las familias se vengan por las ofensas que han recibido. A fin de cuentas, si en las comunidades pequeñas sin estado no imparten justicia los individuos o las familias, nadie más lo hará. El antropólogo Richard Lee informa de un caso actual que da una idea de lo que pudo haber sido una ejecución en el mundo paleolítico:

Twi había matado ya a tres personas cuando la comunidad, obrando unánimemente por una vez, le tendió una emboscada y lo hirió de muerte a plena luz del día. Mientras agonizaba, los hombres lo acribillaron con flechas envenenadas hasta que, en palabras de un informador, «quedó como un puerco espín». Luego, cuando ya estaba muerto, las mujeres y los hombres se acercaron al cadáver y lo hirieron con lanzas, para ser todos simbólicamente responsables de la ejecución^[29].

Seguramente era muy rara en el Paleolítico la guerra a gran escala, como el comercio a gran escala. En su mayor parte, los intercambios de regalos (también de los regalos negativos como la violencia y las injurias) siguieron siendo personales y «familiares». Sin embargo, los intercambios desempeñaban un papel fundamental en la supervivencia, ya que creaban sistemas de información, alianza y ayuda mutua que abarcaban a muchos grupos familiares y amplias zonas geográficas. Y es indudable que había violencia de grupo incluso en las sociedades paleolíticas, como la hay en el seno de las familias actuales y en los primates no humanos de nuestros días^[30].

Aunque no hay forma de saberlo, es probable que se creyera que las redes sociales se extendían al mundo no humano. El lenguaje simbólico permite imaginar y comunicar lo imaginario. Esta comunicación está en la base de todas las formas de pensamiento religioso. Los estudios actuales sobre religiones minoritarias dan a entender que las primeras comunidades humanas pensaban que todo el cosmos estaba envuelto en redes de parentesco. El pensamiento totémico —la creencia de que ciertas familias o linajes están emparentados con especies animales concretas y pueden volver a la vida con forma animal— refleja una idea de parentesco con el mundo animal que parece estar en todas las comunidades pequeñas, incluso en la actualidad. El mundo sobrenatural también pudo haberse concebido como un reino distinto pero accesible, casi como un territorio tribal separado, con cuyos habitantes se podía negociar, combatir o contraer matrimonio. Era un reino al que se podía ir, sin duda después de la muerte, pero a menudo también en vida. Y cuando se llegaba a él, los ritos y símbolos de parentesco hacían como si dijéramos de pasaporte entre dos mundos. Los chamanes actuales suplican, negocian e incluso «se casan» con seres sobrenaturales, con objeto de apaciguarlos o de obtener su favor. Sobre todo, ofrecen comida o sacrifican animales para complacer o apaciguar a los dioses, de modo que los regalos recíprocos determinan tanto las relaciones con el mundo de los espíritus como las del mundo humano. La conexión entre pensamiento familiar y religión perdura en nuestros días incluso en las grandes religiones, que suelen llamar padres o antepasados a los seres trascendentales, a los que hay que hacer dones o «sacrificios» en señal de respeto. Pero parece que en las comunidades en que regía un igualitarismo relativo se pensaba asimismo que los dioses eran igualitarios e individualistas. Christopher ChaseDunn y Thomas D. Hall cuentan que en el norte de California, antes de la colonización europea,

había poca jerarquía entre las fuerzas y los seres. Muchos creían que el universo lo había creado Coyote el embaucador. Ninguna familia o linaje tenía en cuanto tal una relación especial con divinidades o antepasados santos. Más bien eran los individuos los que tenían que buscar y establecer relaciones con las fuerzas espirituales que tenían que ser sus aliadas particulares. El individuo que obtenía mucho «poder» de esta clase tenía muchas probabilidades de ser chamán, pero cada persona construía su propia relación con el mundo espiritual. Esta clase de cosmología religiosa se aviene mal con las ideas de jerarquía o los criterios de antigüedad^[31].

Sin embargo, es probable que, por lo menos en un aspecto, la mentalidad paleolítica fuera muy distinta de la mentalidad propia de las eras posteriores: era mucho más concreta. La gente no trataba con «los dioses» en general, sino con tal espíritu y tal fuerza mágica, del mismo modo que su tecnología, lejos de ser general, estaba especializada al máximo, en función de tal manada concreta de ciervos y de tal bosque o costa concretos. Y esta característica podría explicar por qué las religiones y cosmologías del Paleolítico estaban, por lo que sabemos, tan fuertemente vinculadas con lugares específicos^[32]. Como las comunidades paleolíticas eran muy pequeñas, su mentalidad era ajena a la preocupación, característicamente moderna, por la universalidad y lo general. Los lugares concretos eran lo más importante: estos lugares eran la fuente de todo lo que afectaba a los individuos. Puede apreciarse un atisbo de esta sensibilidad en lo que el australiano Hobbles Danaiyarri, de Yerralin (Territorio del Norte), dijo en cierta ocasión a Deborah Bird Rose: «Todo salió del suelo: el lenguaje, las personas, los emúes, los canguros, la hierba. Es la Ley^[33]».

LA «EXTENSIFICACIÓN»: LAS MIGRACIONES DEL PALEOLÍTICO SUPERIOR Y SUS CONSECUENCIAS

A causa del tamaño reducido de los grupos paleolíticos y de la limitación de sus intercambios, el conocimiento ecológico se acumuló muy despacio, tanto que a menudo se ha supuesto (erróneamente) que no hubo ninguna evolución tecnológica en aquellos tiempos. Aunque no nos resulta fácil ver los detalles, lo cierto es que en las comunidades paleolíticas se acumuló una gran cantidad de conocimiento ecológico. Al mirar atrás desde los tiempos actuales, nosotros vemos mejor que los humanos de aquella época que se estaba produciendo un cambio, porque casi todos los cambios que destacan retrospectivamente en la historia (a diferencia de los nacimientos, defunciones y otros acontecimientos que afectan a la vida contemporánea) se producen a escalas demasiado grandes para que puedan advertirse por experiencia directa^[34]. Con el paso de los milenios, aumentaron el tamaño y la diversidad de los entornos africanos ocupados por los humanos. Ocurrió en virtud de un proceso que podríamos bautizar con la fea palabra *extensificación* y que complementa la más conocida idea de *intensificación*. Extensificación significa que hay aumento del territorio abarcado por los humanos, pero no del tamaño medio o la densidad de las comunidades; en consecuencia crece poco la complejidad de las sociedades humanas. Supone el desplazamiento gradual de grupos pequeños hacia territorios nuevos, por lo general contiguos y parecidos a los que se han abandonado. Los humanos se desplazaban así, entre otras cosas, porque tenían la maleabilidad adaptativa necesaria, mientras que especies emparentadas como los chimpancés no tenían capacidad para salir del hábitat en que habían evolucionado. En cuanto a los motivos para emigrar, podían ser desde rencillas sociales dentro del grupo hasta la

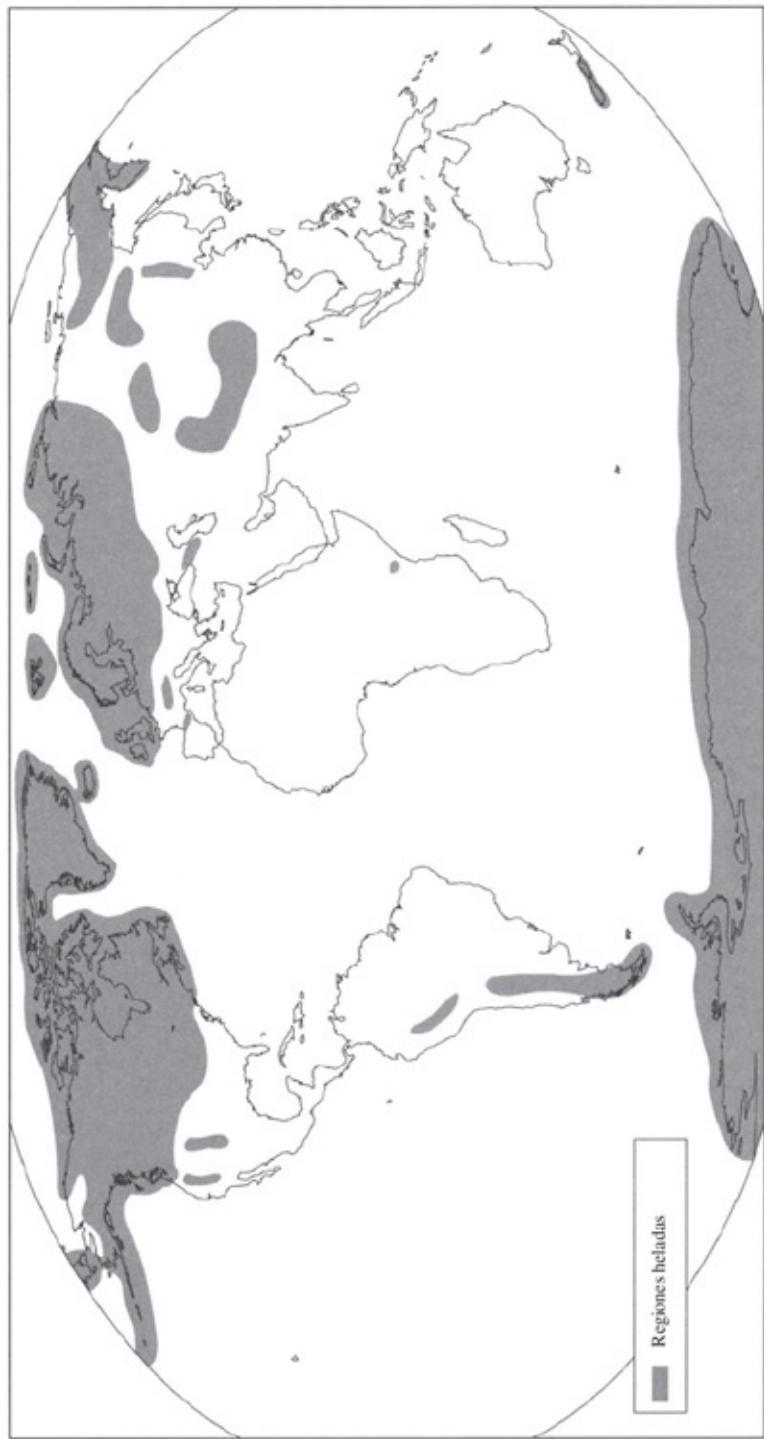
superpoblación local. Pero es importante advertir que la extensificación deja intacto el tamaño medio del grupo, aun en el caso de que pueda dar lugar a una lenta expansión del radio de acción y el número total de individuos. Así, aunque los humanos tenían que adaptarse continuamente a los nuevos hábitats y desarrollar las tecnologías necesarias para vivir en entornos tan diferentes como la selva tropical y la tundra ártica, la sinergia del aprendizaje colectivo aumentaba poco.

Fuera cual fuese la causa, y a pesar de la lentitud que la mentalidad actual podría achacar a tales cambios, el caso es que se repitieron muchas veces, durante siete u ocho mil generaciones y durante 250 000 años, y al final los humanos acabaron instalándose en todos los continentes, exceptuando la Antártida. Desde 100 000 a. p. se encuentran testimonios de la presencia de humanos modernos fuera de África. Los más antiguos son unos cráneos hallados en Oriente Medio, de hace unos 100 000 años. Esto quiere decir que en Oriente Medio vivieron humanos modernos en la misma época que los neandertales. Es posible que al menos en esta región se hayan conocido ambas especies^[35]. Al igual que para los primeros homíninos, para los humanos modernos tuvo que ser fácil emigrar hacia el este o hacia el oeste, siguiendo el litoral mediterráneo, o hacia Asia, porque en Eurasia meridional encontrarían entornos muy parecidos a los de África.

Los primeros grupos migratorios que encontraron entornos muy diferentes fueron los que pasaron al continente de Sahul (que comprendía lo que hoy es Australia y Papúa y Nueva Guinea) y los que se adentraron en las estepas heladas y las tundras de Eurasia septentrional (véanse los mapas 7.1 y 7.2). Ningún homínino anterior había llegado a aquellos lugares, de modo que su sola presencia fue la prueba decisiva del aumento de la creatividad ecológica de los humanos. La dificultad de ocupar territorios más septentrionales y más fríos se advierte por el tiempo que tardaron en pasar de Oriente Medio a Europa y al interior de Eurasia. Los humanos modernos pisaron por primera vez estas regiones hace unos 40 000 años. Estuvieron en Ucrania entre 4 000 y 30 000 a. p., y hacia 25 000 a. p. probablemente habían colonizado ya algunos puntos del este de Siberia. Con el tiempo, las comunidades que vivían en Siberia oriental pasaron a América, o con embarcaciones o cruzando a pie el puente de tierra de Beringia que quedó al descubierto durante las etapas más frías de la última glaciación. Sabemos que los humanos estaban ya en América hace alrededor de 13 000 años, pero hay indicios de que pudieron haber llegado antes, tal vez hace 30 000.



MAPA 7.1. Alcance de los hielos durante las glaciaciones. Datos de Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 19 982, p. 89.



MAPA 7.2. Migraciones de *Homo sapiens* desde 100 000 a. p.

Mientras tanto, otros humanos habían realizado la primera travesía importante de la historia, desde lo que es actualmente Indonesia hasta Sahul. Hasta la década de 1960 no se supo con seguridad que la colonización de Australia tenía más de 10 000 años. Pero desde entonces, las fechas de la presencia humana en Sahul no han hecho más que retroceder en el tiempo. Los humanos estaban ya hace 40 000 años y es posible que llevaran allí mucho más tiempo. Los últimos testimonios encontrados, tras someterse a la innovadora técnica de la termoluminiscencia, dan una antigüedad de casi 60 000 años para la ocupación del refugio rupestre de Malakunanja y la Tierra de Arnhem (norte de Australia), mientras que un esqueleto encontrado en 1974 en el

lago Mungo, de Nueva Gales del Sur, se ha datado recientemente entre 56 000 y 68 000 a. p.^[36]. Son fechas significativas, porque ningún homínino primitivo había conseguido colonizar Sahul. El motivo está claro. Incluso durante la última glaciación, en que el nivel del mar estaba por debajo del actual, llegar a Sahul exigía una travesía marítima de 65 kilómetros por lo menos. En otros momentos la distancia era por lo menos de 100 kilómetros. Los humanos que hubieran querido pasar a Sahul por las Célebes o Timor, habrían tenido que ser marineros excelentes. Y unos organizadores muy escrupulosos, porque las poblaciones que llegaran a Sahul por casualidad no serían lo bastante numerosas para formar colonias estables. Así pues, la colonización de Sahul exigió tecnologías que no se encontraban en ningún homínino anterior (véase el mapa 7.2). Los análisis de variación genética en poblaciones modernas confirman la versión migratoria que leemos en el registro fósil. Los resultados ponen de manifiesto que las poblaciones de Asia oriental y Australia se separaron hace más de 50 000 años, y que las poblaciones amerindias se separaron de las de Asia septentrional hace entre 15 000 y 35 000 años^[37].

Conforme los humanos se adentraban en estos entornos nuevos, fueron desarrollando nuevas tecnologías. Es posible que uno de los adelantos tecnológicos más importantes de finales del Paleolítico fuera el dominio del fuego. Ya vimos que algunas comunidades de *Homo ergaster/erectus* utilizaron el fuego de manera limitada. Los humanos modernos le dieron más usos productivos. De él obtenían calor y cierta protección frente a los depredadores. Se utilizó asimismo para cocinar, un avance que permitió procesar y utilizar alimentos que de otro modo habrían sido intocables; el calor ablandaba la carne y destruía las toxinas protectoras de muchas especies vegetales, desde los tubérculos hasta las legumbres^[38]. El fuego podía utilizarse igualmente para modificar paisajes y como complemento de la caza y la recolección. En un artículo famoso, la arqueóloga australiana Rhys Jones llama «agricultura de antorchas» a este procedimiento^[39]. Los «agricultores» de las antorchas quemaban el *bushland* siguiendo ciclos regulares. Uno de sus objetivos era impedir que se acumulara material combustible que pudiera alimentar más tarde incendios mayores y más peligrosos. Pero al despejar el sotobosque, la agricultura de antorchas potenciaba por otro lado el crecimiento de plantas nuevas que, a su vez, atraían a herbívoros susceptibles de cazarse. Las investigaciones recientes dan a entender que estas técnicas podrían haberse utilizado ya hace 45 000 años^[40]. Por lo menos en las zonas templadas se han venido utilizando de manera más o menos continua desde entonces, causando un profundo efecto en toda la biota. Como ha dicho Stephen Pyne,

pocas comunidades vegetales de la zona templada han escapado a la acción selectiva del fuego y, gracias a la expansión de *Homo sapiens* por todo el mundo, el fuego ha visitado casi todos los paisajes de la Tierra. Muchas biotas, en consecuencia, se han adaptado tanto al fuego que, como suele suceder en las biotas azotadas frecuentemente por las inundaciones y los huracanes, la adaptación se ha convertido en simbiosis. Estos ecosistemas no se limitan a tolerar el fuego, sino que a menudo lo fomentan e incluso lo necesitan. El fuego es en muchos entornos la forma más efectiva de descomposición, la fuerza selectiva dominante que

determina la distribución relativa de ciertas especies y el medio para el reciclaje eficaz de nutrientes e incluso para el reciclaje de comunidades enteras^[41].

Bajo una modalidad u otra, la práctica se encuentra ya en muchas regiones del mundo a finales del Paleolítico y en fecha posterior^[42]. En el siglo XVIII, el capitán Cook vio el humo de los incendios del *bush* mientras navegaba frente a la costa australiana, y Magallanes vio elevarse grandes columnas de humo de la Tierra del Fuego. Las investigaciones antropológicas recientes han puesto de manifiesto que el uso del fuego tiene también una larga historia en América del Norte^[43]. Según I. G. Simmons,

los indios Castor del norte de Alberta tenían una forma compleja y delicadamente apropiada de hacer fuego. Ciertas áreas se incendiaban adrede para maximizar el valor de sus recursos. Dentro del bosque se creaban claros («patios») y se mantenían despejados mediante el fuego; del mismo modo se creaban y mantenían franjas de hierba en las orillas de arroyos, pantanos, senderos y cornisas de montaña («corredores»), porque eran zonas donde se reunían especies animales buscadas, o por donde pasaban, o ambas cosas a la vez. También se incendiaban los caminos que conducían a las trampas, las orillas de los lagos y charcas, y amplias zonas de árboles caídos que de otro modo no tenían valor como recurso; en realidad eran un peligro, porque si se incendiaban en verano podían precipitar un incendio generalizado, mientras que los grupos indios controlaban el tiempo y el espacio para producir sólo incendios de superficie. Así, es posible que los patios y los corredores coexistieran con un mosaico natural creado por el fuego, aunque también pudo haberse empleado la fisonomía natural del terreno como punto de partida y se mantuviera una versión continuamente actualizada^[44].

Es tan omnipresente el uso del fuego que el sociólogo holandés Johan Goudsblom ha dicho que representa la primera gran transición tecnológica de la historia humana^[45].

En climas más fríos, era fundamental mejorar las técnicas de cacería, porque los alimentos vegetales accesibles eran más escasos que en latitudes más meridionales, pero había grandes manadas de herbívoros en las heladas estepas de Rusia, Siberia y América del Norte. Los testimonios de nuevas formas de creatividad tecnológica son particularmente abundantes en el este de Europa. Es posible que, en esta región, entre las innovaciones del Paleolítico Superior estuvieran las formas más antiguas del arte textil y la alfarería, tecnologías que en otras épocas se pensaba que habían aparecido en el Neolítico. Ciertos yacimientos de las llanuras de Moravia, con una antigüedad de 28 000-24 000 años, sugieren el uso de la arcilla cocida y de la tejeduría, seguramente para confeccionar redes y cestas, así como formas elementales de vestido^[46]. También en Europa oriental hay testimonios del Paleolítico Superior que indican mejoras en el vestido, sobre todo en los entornos septentrionales. En Sungir, cerca de Vladímir (Rusia), hay dos sepulturas fechadas hacia 23 000 a. p. que contienen los restos de dos jóvenes de ambos sexos, con la indumentaria llena de cuentas. La situación de los abalorios da a entender que la ropa, hecha con pieles y pellejos, se había confeccionado y entallado cuidadosamente. La tumba de la joven es la más compleja. Contenía más de 5000 cuentas, muchas lanzas de marfil y otros adornos de marfil tallado. La tumba del joven contenía asimismo muchas cuentas, un

cinturón hecho con 250 dientes de zorra tallados, una pulsera, varias lanzas y una figura de mamut tallada en marfil. Muchos yacimientos del Paleolítico Superior contienen además agujas de hueso^[47].

Los refugios se volvieron más especializados. Hay indicios realmente llamativos de construcción sistemática y bien planificada en lo que hoy es Ucrania y el sureste de Rusia^[48]. Puede que lo más asombroso de todo sea que las comunidades de ciertas regiones explotaban con tanta eficacia los recursos locales que abandonaban parcialmente el nomadismo. Los testimonios más claros de la existencia de «aldeas» del Paleolítico Superior proceden también de Ucrania, donde Olga Soffer ha estudiado casi treinta yacimientos. En muchos hay huesos de mamut y pozos para el almacenamiento de carne congelada. Relacionados con estos yacimientos hay otros —en terrenos altos, alejados de los cauces fluviales— que podrían corresponder a campamentos de caza utilizados sólo en verano. Los refugios más antiguos de huesos de mamut son aproximadamente de 20 000 a. p., pero hay otros refugios parecidos en muchos puntos de la cuenca del Dniéper, por lo general cerca de los valles fluviales. En Meyirich, a orillas del Dniéper, hay grandes acumulaciones de huesos de mamut al lado de fogones cuidadosamente preparados y muchos adornos de hueso o de marfil. Los huesos de mamut servían para construir el armazón de los refugios, parcialmente clavados en tierra y cubiertos con pieles. Había unos cinco refugios, cada uno de 80 metros cuadrados aproximadamente y con capacidad para cobijar hasta diez personas. Los constructores utilizaron los huesos de mamut no sólo como armazón, sino también como estacas, anteponiéndolos a la madera, que se pudre más fácilmente. Los hundían en el suelo, les abrían agujeros e insertaban en ellos postes de madera. Además empleaban los huesos de mamut como combustible, astillándolos previamente^[49]. Estas viviendas eran probablemente campamentos de invierno para grupos de alrededor de treinta personas que las ocupaban tal vez nueve meses al año. Que estas viviendas eran relativamente fijas se refleja en el cuidado con que se construyeron. En el yacimiento 21 de Kostenki, a orillas del Don, había varias viviendas, separadas entre sí por 10 o 15 metros, a lo largo de 200 metros. Una, próxima a una zona pantanosa, tenía una parte del suelo pavimentada con losas de piedra caliza, para protegerse de la humedad. También había objetos que al parecer tenían una función ritual, como los dos cráneos de buey almizclero encontrados en Kostenki. Puede que fuera el lugar de las reuniones anuales o de actividades rituales que confirmaban la unidad de los grupos emparentados^[50]. Los habitantes de estas aldeas glaciales se alimentaban con carne congelada que guardaban en pozos de almacenamiento y que descongelaban con fuego. La carne era en su mayor parte de herbívoros gregarios como el mamut y el bisonte, que se cazaban en verano y en otoño, cuando los animales estaban en condiciones óptimas. Todos los años, algunos habitantes se desplazaban a los campamentos de verano para pasar allí la temporada de caza. Al volver, guardaban la carne en pozos cuya profundidad indica que se abrieron desde la capa superior del suelo durante los deshielos del corto verano^[51].

Las habilidades necesarias para sobrevivir en medios como los descritos eran tanto sociales como tecnológicas. El conocimiento, en los medios hostiles, es tan importante como las herramientas; los modernos estudios antropológicos dan a entender que el conocimiento se valoraba mucho y se codificaba y atesoraba escrupulosamente en leyendas, rituales, canciones, pinturas y bailes. Hay muchos indicios de que en el Paleolítico Superior se intercambiaban información y bienes prestigiosos de varias clases, a veces en un radio muy amplio. Esto no quiere decir que estos intercambios fuesen regulares, pero sí que la información podía difundirse por amplias regiones, si bien con lentitud y de manera desigual. Las asombrosas Venus que encontramos desde los Pirineos hasta el río Don, todas procedentes del período más frío de la última glaciación, hace unos 20 000 años, constituyen un ejemplo espectacular de los mecanismos de difusión. Más sorprendente aún es el conjunto de semejanzas que advertimos entre las pinturas rupestres del suroeste de Europa y las de Mongolia occidental, de finales del Paleolítico Superior^[52]. También en Sahul hay indicios de que se podían intercambiar bienes e ideas en un radio muy amplio. La mina de ocre de Wilgie Mia, en Australia occidental, se excavó durante miles de años utilizando tecnologías que comprendían apuntalamientos de madera, piedras duras para golpear la roca y cuñas endurecidas con fuego para extraer el ocre empotrado en la roca. El ocre rojo de la mina, que podría ser para representar la sangre de un ser de Fantasía, se transportaba desde Australia occidental hasta Queensland, que está en el otro extremo del continente^[53].

Las tecnologías que permitieron a los primeros humanos tener acceso a medios de diversidad creciente y capacidad para colonizar el mundo suponen un aumento del número total de humanos. Pero es difícil calcular cuánto crecieron las poblaciones del Paleolítico. La mayoría de los cálculos se basa en poco más que una serie de prudentes conjeturas. Y se corre el riesgo, un riesgo que debería admitirse de entrada, de que al hacer deducciones de las cifras sólo redescubramos los presupuestos que había tras las conjeturas del principio. Sin embargo, si las estimaciones son seguras, aunque contengan un margen de error, permiten llegar a algunas conclusiones claras e importantes. Aunque las poblaciones primitivas eran indiscutiblemente pequeñas y sin duda fluctuaban mucho, hemos visto que el radio de acción de los humanos se amplió notablemente en África durante 150 000 años y más. Esta expansión territorial da a entender que el número total de humanos había aumentado. Como ya se ha señalado en el capítulo 6, el testimonio genético indica que el número de humanos modernos pudo haber sido peligrosamente bajo (quizá de unos 10 000 adultos) hace unos 100 000 años, al comienzo de la última glaciación^[54]. Sin embargo, que algunos grupos salieran de África —primero hacia Oriente Medio y luego, desde hace 50 000 años, hacia el centro y el norte del continente euroasiático, así como hacia Asia oriental y Australia— significa seguramente que había aumentado de manera considerable la población de humanos modernos después de la última fecha citada. Las duras condiciones de las posteriores etapas de la última glaciación podrían haber

frenado el crecimiento, pero la expansión de los humanos hacia entornos completamente desconocidos como Siberia y América quizá tuvo el efecto contrario, por lo menos a escala planetaria. Un indicio indirecto del aumento demográfico es la creciente cantidad de colonias que hay en el Paleolítico Superior: entre la costa septentrional del mar Negro y los glaciares situados más al norte sólo se han encontrado seis yacimientos neandertales, pero hay más de 500 posteriores a 50 000 a. p.^[55] El demógrafo italiano Massimo Livi-Bacci propone una población total de «varios cientos» de miles para 30 000 a. p. y unos 6 millones para el fin de la última glaciación, hace casi 12 000 años (véanse las tablas 6.2 y 6.3^[56]).

Con estas tres cantidades —10 000 al comienzo de la última glaciación, unos 500 000 a principios del Paleolítico Superior y 6 millones hace 10 000 años, al final de la última glaciación— podemos calcular algunas tasas de crecimiento de las primeras poblaciones humanas. Tomadas por su valor aparente, estas cantidades suponen que cada cien años las poblaciones humanas se multiplicaron por 1,006 aproximadamente entre 100 000 y 30 000 a. p., una tasa que arroja un tiempo de duplicación de unos 12 500 años. Entre 30 000 y 10 000 a. p., la población mundial se multiplicó por 1,013 aproximadamente cada 100 años, lo que da un tiempo de duplicación de unos 5600 años.

Son tasas de crecimiento muy altas en comparación con las demás especies de mamíferos grandes. Sin embargo, son bajas si se miden por el rasero de la historia humana posterior. En la tabla 6.3 puede verse que, con estas cantidades, el período medio de duplicación se redujo en la época agrícola a la sexta parte de lo que había durado a finales del Paleolítico. En la época moderna ha vuelto a reducirse, aproximadamente a la octava parte del valor que tenía en la época agrícola. Una forma de entender de modo general la diferencia entre estas épocas es calcular la densidad demográfica media. La superficie total de tierra del planeta (contando la Antártida) es aproximadamente de 148 millones de kilómetros cuadrados. Dividiendo esta cifra por la población mundial de cada época tendremos una densidad demográfica aproximada de 1 individuo por cada 25 kilómetros cuadrados en 10 000 a. p.; en 5000 a. p. habría habido alrededor de 8 personas; en 2000 a. p., alrededor de 42; en 1800 d. C., alrededor de 160; y actualmente alrededor de 1013. Es otra forma de decir que desde finales del Paleolítico la población mundial se ha multiplicado por 1000, que de 6 millones ha pasado a 6000 millones. Como hemos visto en este capítulo, este asombroso cambio empezó ya en el Paleolítico, con las primeras migraciones a otras tierras del continente africano.

EL IMPACTO HUMANO EN LA BIOSFERA

Por toscas que puedan parecer a los humanos actuales, las habilidades tecnológicas que posibilitaron esta expansión supuso un notable aumento del dominio

ecológico humano, un aumento que repercutió de modo significativo en los entornos paleolíticos. La «agricultura de antorchas» es el ejemplo más espectacular, pues, según parece, la quema regular de tierras durante miles de años podía transformar amplias zonas, a veces de manera radical^[57]. En Australia, las especies amantes del fuego como los eucaliptos se multiplicaron gracias a la agricultura de antorchas, mientras que otras especies se redujeron; así, las tierras pobladas de eucaliptos que los emigrantes europeos tomaron por la imagen natural de Australia eran, en realidad, tan artificiales como los jardines paisajísticos de la Inglaterra del siglo XVIII.

Otra forma importante de moldear el entorno en el Paleolítico fue empujar a otras especies a la extinción. El perfeccionamiento de las técnicas de caza y el creciente uso del fuego tal vez desempeñaran aquí algún papel, como lo desempeñó la expansión hacia nuevos entornos. Muchas especies grandes (la megafauna) estuvieron especialmente amenazadas: mamíferos, reptiles y aves que se reproducían despacio y, por lo tanto, eran más sensibles a los descensos demográficos bruscos. Los mamutes, los rinocerontes lanudos y el gigantesco alce irlandés desaparecieron de Eurasia septentrional e interior; en América del Norte desaparecieron los caballos, los elefantes, los armadillos gigantes y los perezosos^[58]. En Australia desaparecieron muchos géneros de marsupiales grandes, entre ellos *Diprotodon*, una criatura parecida al uombat, de unos 2 metros de altura (véase la figura 7.3). Y al parecer se extinguieron antes de que transcurrieran 10 000 años desde la llegada de los humanos^[59]. Como Alfred Wallace, el colaborador de Darwin, señalaba ya en 1876, las extinciones fueron de intensidad variable y se produjeron en casi todo el mundo, desde el Pacífico hasta el Atlántico y América: «Vivimos en un mundo zoológicamente empobrecido del que han desaparecido en los últimos tiempos las formas más grandes, más feroces y más extrañas; sin duda es un mundo más benigno para nosotros que el que ya no existe. Pese a todo, esta súbita extinción de tantos mamíferos grandes, no en un lugar, sino en más de medio mundo, es sin lugar a dudas un acontecimiento prodigioso sobre el que nunca se hará suficiente hincapié^[60]».

Hace mucho que los científicos discuten el efecto relativo del cambio climático y las cacerías intensivas de animales en estas extinciones. Es posible que los dos factores influyeran, pero cuando nos ponemos a datar las extinciones con más precisión, se acumulan los indicios de que las principales extinciones, sobre todo en las últimas regiones colonizadas como Siberia, Australia y América, coinciden con la llegada de los humanos^[61]. Fue aquí donde las extinciones alcanzaron mayores proporciones. Australia y América podrían haber perdido entre el 70 y el 80 por 100 de las especies mamíferas que pesaran más de 44 kilos; en Europa desapareció alrededor del 40 por 100 de la megafauna y en África sólo alrededor del 14 por 100^[62]. También en épocas recientes ha habido especies particularmente afectadas en medios como las islas del Pacífico, cuyos animales no habían estado hasta entonces en contacto con los humanos. Que no haya el menor rastro de porcentajes parecidos de extinción en anteriores períodos de rápido cambio climatológico, por ejemplo en el

pleistoceno, apoya la conclusión de que la actividad humana ha tenido algo que ver. Fuera cual fuese la causa, la desaparición de casi todos los mamíferos grandes de Australia y América tuvo hondas repercusiones. La desaparición de especies que con el tiempo habrían podido domesticarse podría haber retrasado o impedido la aparición de la agricultura en estas vastas regiones, que por otra parte se quedaron sin una importante fuente de energía potencial^[63].

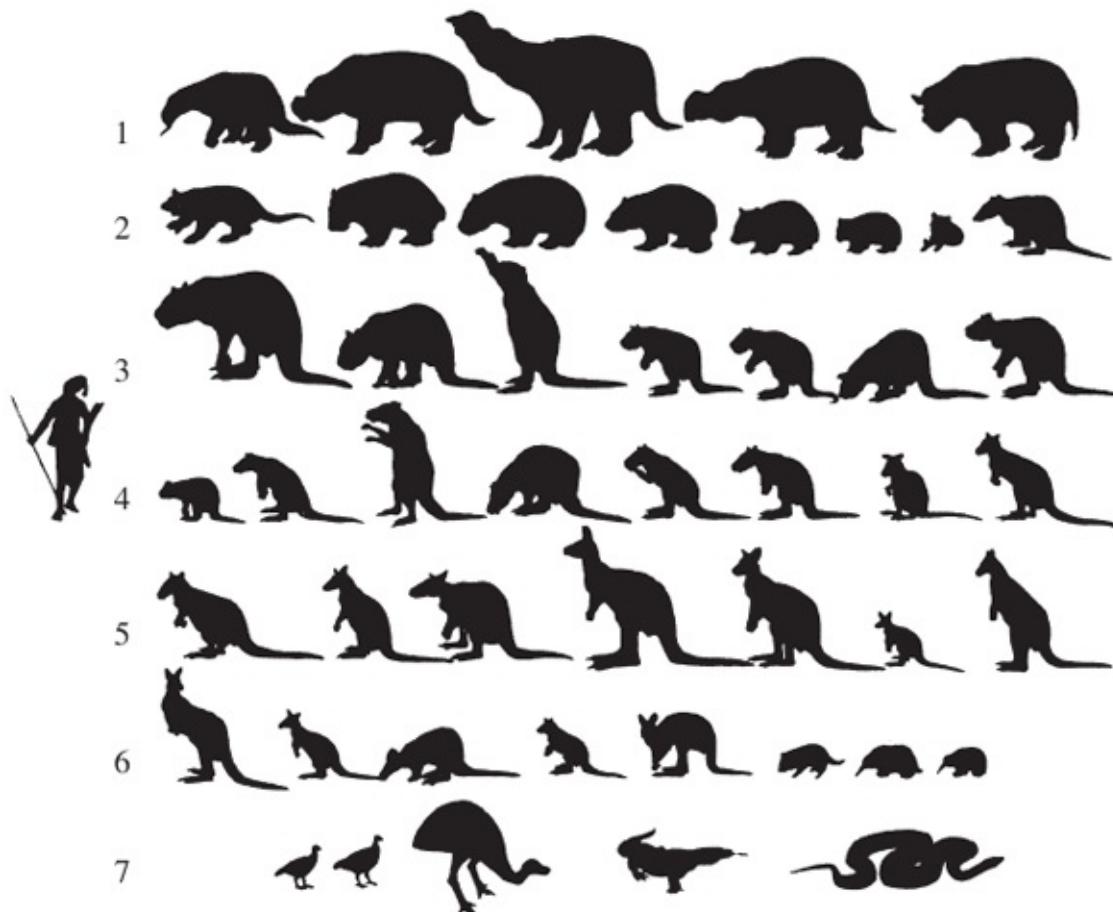


FIGURA 7.3. Megafauna australiana extinguida (y reducida): perfiles de animales australianos perdidos o reducidos de tamaño. El cazador humano de la izquierda permite comparar los tamaños relativos. Según Tim Flannery, *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood, N. S. W., 1995, p. 119; gentileza de Peter Murray.

La historia de las extinciones del Paleolítico tiene un desenlace triste y llamativo. Entre las especies forzadas a la extinción por la expansión de los humanos modernos probablemente estuvieron los últimos restos de los homíninos que no eran de nuestra especie. Los neandertales, como hemos visto, tenían el encéfalo tan grande como los humanos modernos y eran lo bastante creativos para instalarse en las regiones frías de la Rusia y la Europa actuales que ningún homínino anterior había llegado a ocupar. Pero al parecer carecían de la creatividad tecnológica de los humanos modernos, probablemente porque carecían de un lenguaje simbólico desarrollado. Los humanos modernos estuvieron en Oriente Medio al mismo tiempo que los neandertales; más aún: parece que en esta región los humanos modernos utilizaron herramientas

semejantes a las de sus vecinos neandertales. Pero las dos especies utilizaron herramientas parecidas de manera diferente. Ciertos estudios realizados con huesos de especies cazadas por los humanos modernos revelan que casi todos los animales se capturaron en verano o en invierno, mientras que los restos de los yacimientos neandertales indican que se capturaban durante todo el año. Dicho de otro modo, es probable que los humanos modernos se movieran más y cazaran de un modo más selectivo, mientras que los neandertales estaban en el mismo emplazamiento todo el año. Estas sutilezas podrían ser indicio de diferencias más profundas entre los dos grupos. La mayor movilidad de los humanos modernos da a entender que sus grupos tenían más contacto entre sí y que podrían haber intercambiado información en un radio más amplio, mientras que los neandertales, tanto los grupos como los individuos, vivían más aislados. Entre las comunidades recolectoras actuales, sobre todo de las regiones frías (equivalentes, por ejemplo, a las de Oriente Medio durante la última glaciación), compartir información entre varios grupos puede ser vital para la supervivencia. Al mismo tiempo, los grupos más autosuficientes y menos móviles pueden ser más sensibles a las crisis ecológicas bruscas. Es posible que estos grupos, con sus métodos de caza menos eficaces, tuvieran que invertir más energía física para sobrevivir. Esta necesidad podría explicar el aspecto fornido de los neandertales: sus métodos de caza se basaban más en la fuerza individual que en la astucia colectiva^[64].

Estas diferencias tuvieron consecuencias con el paso del tiempo, mientras los humanos modernos se expandían y acababan emigrando a regiones ocupadas por neandertales. Parece que una de estas regiones era el sur de Francia, que probablemente tenía la mayor densidad demográfica de Europa al final de la última glaciación (lo cual, por otro lado, podría ser la causa de que además contenga el 80 por 100 del arte rupestre europeo^[65]). Hay indicios de que las comunidades neandertales sobrevivieron en Francia durante la mayor parte de la última glaciación y es posible que imitaran algunas tecnologías de sus vecinos. Pero no les sacaron mucho partido. Los últimos neandertales perecieron en Europa suroccidental hace 25 000-30 000 años. Cabe la posibilidad de que hubiera un desenlace parecido, y aproximadamente al mismo tiempo, en el extremo oriental del continente euroasiático, ya que han aparecido indicios de que otras poblaciones homíninas sobrevivieron allí tanto tiempo como los neandertales y desaparecieron hace entre 50 000 y quizás 27 000 años^[66].

El virtuosismo ecológico de los humanos modernos tenía ya en el Paleolítico su faceta creativa y su faceta destructora. Sus aventurados movimientos de masas, su arte rupestre y sus habilidades tecnológicas merecen justamente nuestra admiración; pero la eliminación de tantos animales grandes, entre ellos las últimas especies de homíninos que quedaban, es un importante aviso de que la historia humana tiene un rostro más peligroso.

RESUMEN

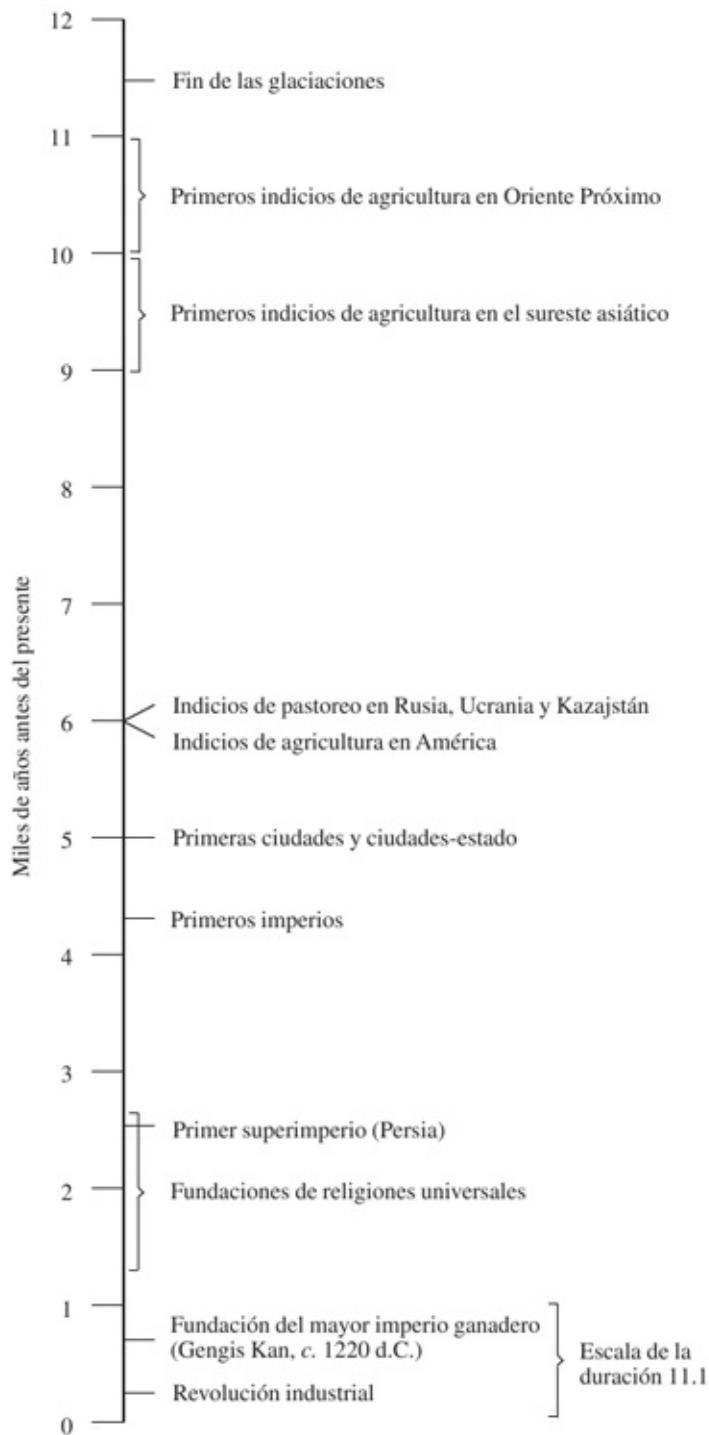
La investigación reciente da a entender que los humanos modernos, pertrechados con lenguaje simbólico y capacidad para el aprendizaje colectivo, aparecieron en África hace alrededor de 250 000 años. Poco a poco, comunidad tras comunidad, los humanos desarrollaron tecnologías nuevas y aprendieron a vivir en entornos desconocidos. Desde hace unos 100 000 años empezaron a salir de África y a internarse en tierras no colonizadas antes por ningún homínino, tierras cuya ocupación exigía habilidades ecológicas completamente nuevas. El continente de Sahul fue ocupado entre 60 000 y 40 000 a. p.; las regiones heladas de Rusia y Siberia fueron ocupadas desde 30 000 a. p. en adelante; y América fue ocupada por emigrantes siberianos hace unos 13 000 años y quizá mucho más. Conforme se expandían los humanos empezaron a influir de modo significativo en la biosfera, transformando paisajes con el fuego y extinguiendo mediante la caza buena parte de la megafauna del Pleistoceno. Al final de la última glaciación, hacia 10 000 a. p., los humanos ocupaban todas las partes habitables del planeta, excepto la miríada de islas del Pacífico. Y por añadidura habían empujado a la extinción a los demás homíninos que quedaban.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

La historia temprana de nuestra especie es un campo complejo y plagado de polémicas. Hay buenos repasos generales, entre ellos Peter Bogucki, *The Origins of Human Society* (1999); Göran Burenhult, ed., *The Illustrated History of Humankind* (1993-1994, 5 vols.); Roger Lewin, *Evolución humana* (1999); Ian Tattersall, *Hacia el ser humano* (1998); Richard Klein, *The Human Career* (1999); Luigi Luca y Francesco Cavalli-Sforza, *The Great Human Diasporas* (1995); Chris Stringer y Robin McKie, *African Exodus* (1996); y Robert Wenke, *Patterns in Prehistory* (1990³). El presente capítulo se basa sobre todo en un artículo fascinante de Sally McBrearty y Alison Brooks, «The Revolution that Wasn't» (2000), pero es demasiado pronto para saber si esta versión se aceptará mayoritariamente. La historia temprana del lenguaje es no menos polémica. Algunos aspectos de los debates actuales sobre el tema pueden verse en Terrence Deacon, *The Symbolic Species* (1997); Steven Mithen, *Arqueología de la mente* (1996); Henry Plotkin, *Evolution in Mind* (1997); John Maynard Smith y Eörs Szathmáry, *Ocho hitos de la evolución* (1999); y Steven Pinker, *El instinto del lenguaje* (1994). *Timewalkers* (1995) de Clive Gamble es una de las últimas historias generales del Paleolítico y se centra sobre todo en las cambiantes relaciones y redes sociales. *The Future Eaters* (1995) de Tim Flannery es un libro magnífico, aunque polémico, sobre el primer impacto ecológico de los humanos en Sahul; su última obra, *The Eternal Frontier* (2001) analiza la

historia ecológica de América del Norte. Los trabajos de Olga Soffer (véanse los artículos relacionados en la bibliografía general) son fundamentales para entender la colonización de la Rusia helada. *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution* (1992), coordinada por Steven Jones y otros, es también útil para muchos detalles del presente capítulo.

Cuarta parte
EL HOLOCENO
POCOS MUNDOS



DURACIÓN 8.1. Historia de las sociedades agrícolas y de las civilizaciones urbanas: 5000 años.

Capítulo 8

LA INTENSIFICACIÓN Y EL ORIGEN DE LA AGRICULTURA

La revolución agrícola supuso la reestructuración de la economía de la alimentación y pasar de un estilo de vida nómada y basado en la caza y la recolección a un estilo de vida sedentario, basado en el cultivo del suelo. Aunque la agricultura empezó como complemento de la caza y la recolección, al final casi la reemplazó por completo. La revolución agrícola necesitó que la décima parte de la superficie terrestre se limpiara de árboles y hierba para proceder a su labranza. A diferencia de la cultura de la caza-recolección, que tuvo poco efecto en el planeta, la nueva cultura de los cultivos transformó literalmente la superficie de la Tierra.

LESTER R. BROWN

En la escala geológica, el fin del pleistoceno y el comienzo del Holoceno se produjeron hace unos 11 500 años, al final de la última glaciación. Desde entonces, la historia humana siguió un rumbo nuevo. Con el paso de las tecnologías extensivas a las intensivas se cruzó otro umbral. La creciente capacidad ecológica de nuestra especie se constata en el Paleolítico en la exploración de entornos nuevos durante las migraciones que poblaron el planeta de humanos. Desde el principio del Holoceno adopta la forma de *intensificación*: tecnologías y formas de vida nuevas que capacitan a los humanos para extraer más recursos de una misma extensión de tierra. En consecuencia, aunque casi toda la historia humana está concentrada en el Paleolítico (desde el punto de vista cronológico), casi todos los humanos han vivido en los últimos 10 000 años (véase la figura 8.1).

En términos generales podemos denominar *agricultura* al conjunto de nuevas tecnologías de comienzos del Holoceno. Éstas fomentaron el crecimiento de la población y animaron a los humanos a instalarse en las grandes y concentradas comunidades que llamamos aldeas y pueblos. La creciente densidad demográfica aumentó el intercambio de ideas y estimuló el aprendizaje colectivo, de modo que el ritmo del cambio tecnológico se aceleró. Pero con la formación de comunidades mayores y más densas aparecieron nuevos problemas sociales y organizativos cuya solución exigía a su vez relaciones sociales nuevas y estructuras sociales mayores y más complejas. Con el transcurso de los milenios y a velocidad variable, estos cambios se difundieron por buena parte del planeta. Representan el cambio más decisivo desde la aparición de los humanos modernos.

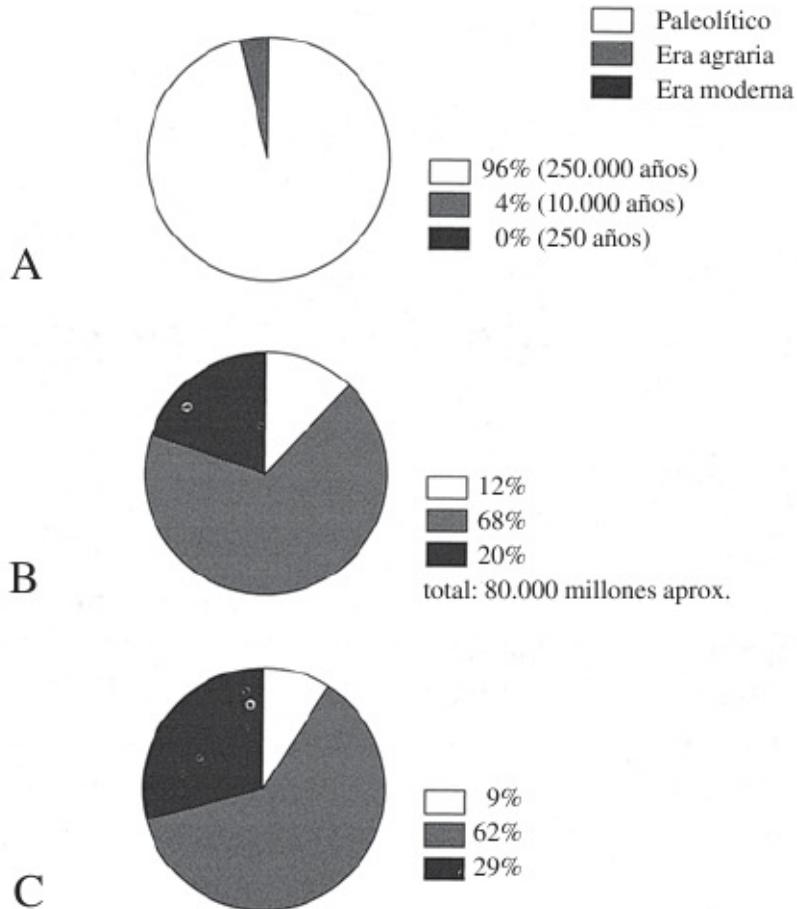


FIGURA 8.1. Comparación de tres edades de la historia humana. Comparación del Paleolítico, la era agraria y la época moderna según (A) la duración (240 000, 10 000 y 200 años, respectivamente); (B) la población humana de cada una [desde la aparición de nuestra especie han nacido alrededor de 80 000 millones de humanos, según cálculos de M. Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, Blackwell, Oxford, 1992, pp. 31 y 33; (C) el número de años vividos en cada período. Como la esperanza de vida ha aumentado espectacularmente en la edad moderna, ésta destaca mucho más cuando se compara con el total de la población humana viva cálculos según Livi-Bacci, cit.].

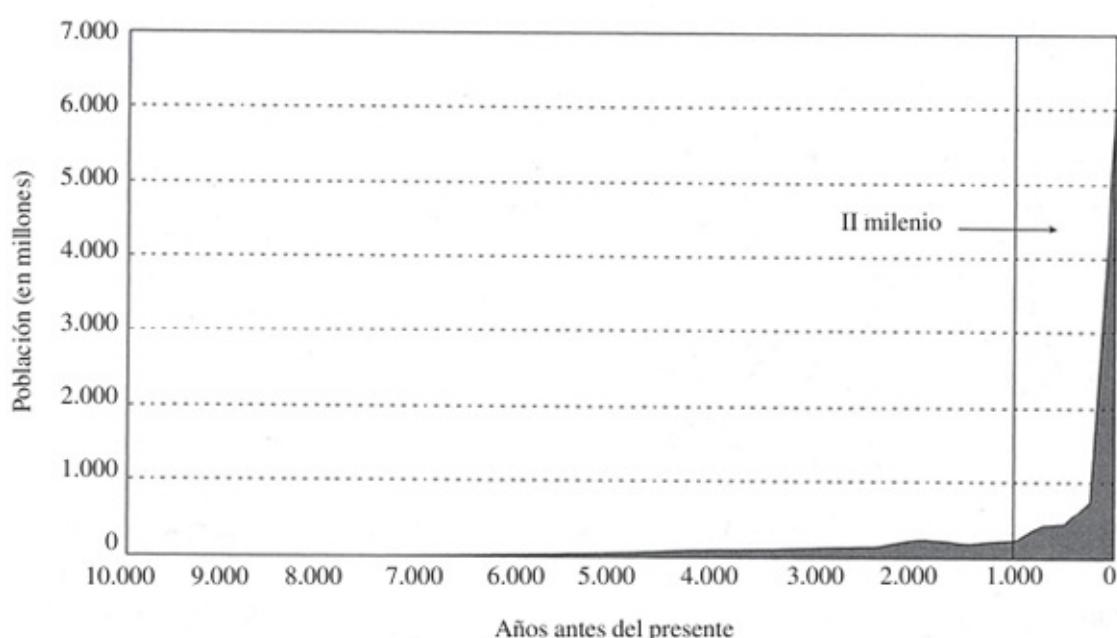


FIGURA 8.2. Poblaciones humanas desde 10 000 a. p. Según la tabla 6.2.

El dinamismo del Holoceno se ve con la máxima claridad en el crecimiento demográfico (véanse la figura 8.2 y las tablas 6.2 y 6.3). Ya hemos visto que, en la prehistoria europea, incluso las formas más primitivas de agricultura podían alimentar de 50 a 100 veces más personas que las tecnologías recolectoras en un área parecida^[1]. Por este motivo, la transición a la agricultura aparece como un ascenso casi vertical en el gráfico del crecimiento de la población mundial. Como es lógico, las cifras de la población mundial que damos para este período son aproximadas. Sin embargo, la multiplicación de colonias en esta época indica que las poblaciones realmente crecieron más aprisa que en el Paleolítico. Las estimaciones de las tablas 6.2 y 6.3 dan a entender que la población mundial pasó de unos 6 millones en 10 000 a. p. a unos 50 millones 5000 años más tarde, lo que supone que en ese tiempo se multiplicó por una cantidad intermedia entre seis y doce^[2]. Por término medio, las poblaciones se duplicaban cada 1600 años, mientras que en el Paleolítico se tardaba 6000 años. Estos cambios señalan el comienzo de una época demográfica nueva, cuyas características tasas de crecimiento a largo plazo se mantuvieron durante casi 10 000 años, hasta que aumentaron en la edad moderna.

En la década de 1930, el arqueólogo australiano V. Gordon Childe propuso el concepto de «revolución neolítica» para describir esta serie de cambios. Al principio, los arqueólogos utilizaron el término Neolítico (Edad de la Piedra Nueva) para describir las características herramientas de piedra pulida que aparecieron hace alrededor de 10 000 años. Pero Childe decía que el verdadero significado del período estaba en algo más revolucionario: en la aparición de la agricultura. La agricultura puso los cimientos de todos los progresos importantes de la historia humana posterior. Muchos prehistoriadores actuales se niegan a aceptar la terminología de Childe porque, cuando se estudian más de cerca, se advierte que los cambios fueron graduales. Los humanos de entonces difícilmente se habrían percatado de que estaban viviendo una revolución. Pese a todo, la idea de Childe de que hubo una revolución neolítica o agrícola merece conservarse, porque los cambios, en la escala del conjunto de la historia humana, fueron rápidos y revolucionarios (véase la tabla 8.1). En el breve transcurso de 7500 años, entre 11 500 a. p. y 4000 a. p., aparecieron comunidades con plantas adaptadas y animales domesticados por lo menos en tres regiones muy separadas entre sí, aunque tal vez llegaran a siete. El modo de vida fomentado en estas regiones de agricultura inicial acabó difundiéndose conforme los agricultores emigraban a otras regiones o cuando otras comunidades incorporaban las nuevas técnicas a su propia forma de vida, que tal vez fuera ya semiagrícola. En virtud de una compleja mezcla de migración, difusión e invención y reinvencción locales, las formas de vida agrícola se extendieron por casi todo el mundo, con multitud de variantes locales, a través de redes de intercambio ya existentes o recién creadas.

Este capítulo se centra en lo que llamo *primera edad agrícola*. Es el período de la historia humana en que había comunidades agrícolas, pero no ciudades ni estados.

Como veremos, su cronología varía de una región a otra. En unas empezó hace 10 000 o 11 000 años y terminó hace 5000 o 6000; en otras empezó mucho más tarde y duró hasta el siglo xx.

PERÍODO HOLOCÉNICO DE LA HISTORIA HUMANA

El final de la última glaciación

La fase más fría de la última glaciación duró entre 25 000 a. p. aproximadamente y 18 000 a. p. Hace 18 000 años, los climas se volvieron más cálidos y húmedos, a veces con gran brusquedad, aunque había ocasionales retrocesos a las condiciones glaciales (por ejemplo, entre 13 000 a. p. y 11 500 a. p.). Desde 11 500 a. p. los climas se han mantenido, en su mayor parte, en el nivel característico de los períodos cálidos entre glaciaciones (las llamadas *interglaciaciones*), aunque ha habido períodos ocasionales de más calor o más frío. Toda la historia humana conocida ha transcurrido hasta ahora en la interglaciación del Holoceno.

TABLA 8.1. PERIODIZACIÓN DE LA HISTORIA HUMANA.

<i>Época</i>	<i>Tiempo aproximado</i>	<i>Rasgos característicos</i>
Era 1: Muchos Mundos: el Paleolítico y el principio de la historia humana	de 300.000/250.000 a.p. a 10.000 a.p.	Primeros indicios de virtuosismo adaptativo; muchas comunidades pequeñas informalmente relacionadas; crecimiento demográfico y extensificación; acceso a nuevos medios, colonización de casi todo el mundo habitable; extinción de las demás especies homíninas que quedaban
Era 2: Pocos Mundos: el Holoceno y la era agraria	de 10.000 a.p. a 500 a.p.	Intensificación y emplazamientos densos e interconectados; creciente variedad de adaptaciones, nuevas clases de comunidad, entornos progresivamente artificiales, poblaciones en aumento; tres zonas planetarias separadas que siguen direcciones parecidas a velocidad diferente, regidas por distintas sinergias de intercambio informativo
Era 3: Un Mundo: La era moderna	de 500 a.p. a la actualidad	Un solo sistema mundial; aprendizaje colectivo a nivel de la especie; brusca aceleración de la extracción de recursos; control de los recursos de la biosfera; extinción de otros organismos

Conforme los climas se volvían más cálidos, los glaciares que cubrían buena parte de América del Norte, Europa septentrional y el este de Siberia se redujeron y retrocedieron. Al derretirse el hielo, el nivel del mar subió y las aguas inundaron las costas de casi todo el orbe. El cambio fue más espectacular en las latitudes septentrionales, donde las tierras liberadas del peso de las grandes masas de hielo salieron literalmente a flote.

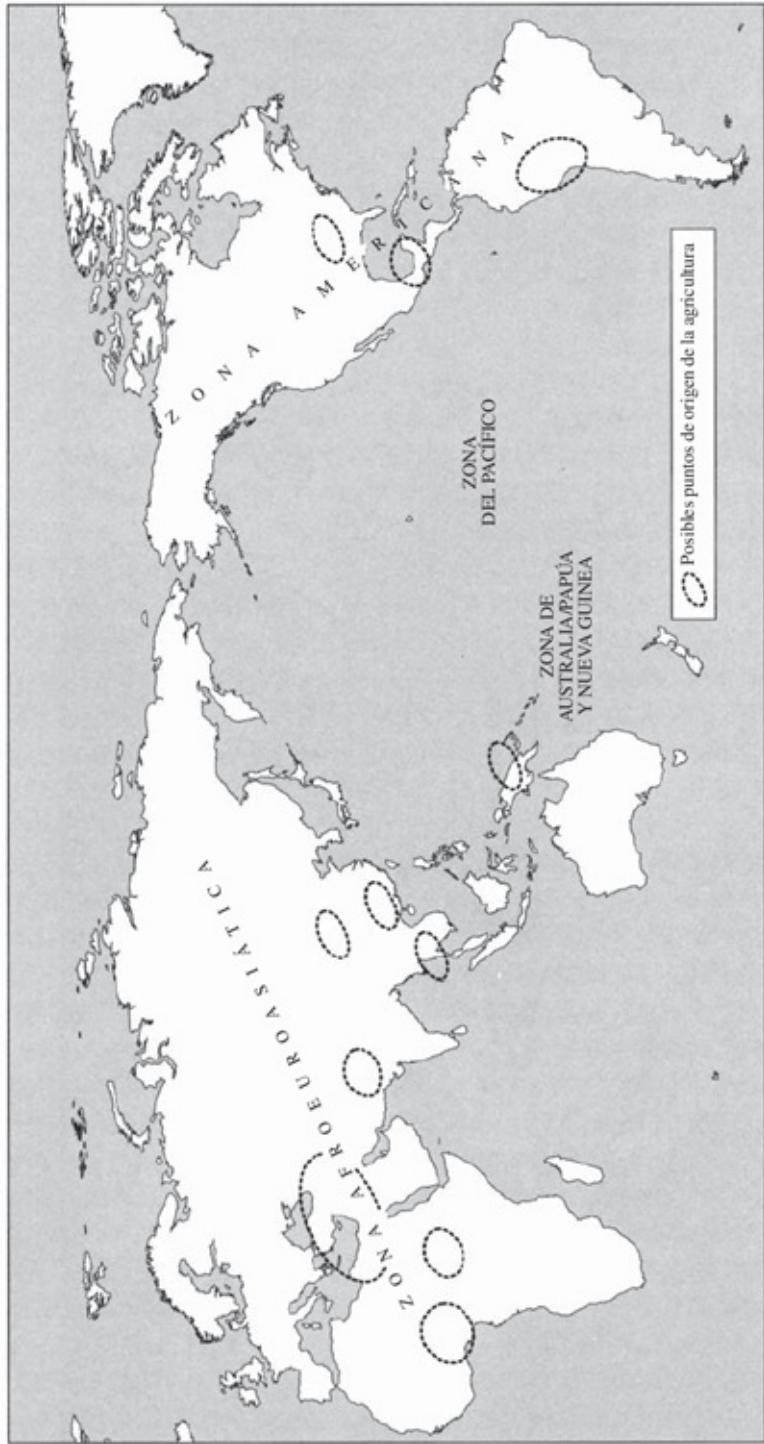
Los cambios climáticos transformaron los paisajes y la vegetación^[3]. Los desiertos y las tundras se redujeron, los bosques se extendieron. En Eurasia y América del Norte, los bosques emigraron a las estepas que habían estado congeladas hasta entonces y crearon las zonas forestales más extensas del mundo. Los abedules y los pinos emigraron más aprisa y más lejos, seguidos por especies caducifolias como el avellano, el olmo y el roble. En las regiones más cálidas de África y América del

Sur, donde apenas habían quedado bosques, volvieron a brotar selvas tropicales casi tan extensas como los bosques templados de las latitudes septentrionales. Donde se extendía el bosque, desplazaba a las especies esteparias como el mamut, el bisonte y el caballo, que durante la glaciación habían pastado en las estepas de Eurasia y América del Norte. Los bosques introdujeron en su lugar especies como el oso, el ciervo y el conejo, junto con una amplia gama de productos vegetales nuevos como los frutos de cáscara dura, las bayas, las semillas, la fruta y las setas. Estas especies eran para los humanos más difíciles de explotar que los grandes herbívoros que cazaban en latitudes más septentrionales durante las glaciaciones. Pero estas pequeñas especies proliferaron en algunas regiones conforme los climas se volvían más cálidos y su sola abundancia las hizo más atractivas. Entre 10 000 a. p. y 5500 a. p., la creciente humedad transformó lo que hoy es el desierto del Sahara en una exuberante región de lagos y bosques, cuyos pobladores legaron a la posteridad asombrosas pinturas rupestres con imágenes de una vida que sería inconcebible en el Sahara actual.

Mientras las plantas y los animales terrestres se adaptaban al cambio climático, los humanos hicieron lo propio. Pero se adaptaron de forma distinta, según las diferentes partes del mundo; así pues, las sociedades humanas se volvieron más diversas durante el Holoceno.

Los tres mundos

Conforme subía el nivel del mar en el Holoceno, se inundaban los puentes de tierra entre Siberia y Alaska, Japón y China, Gran Bretaña y Europa, y Australia, Papúa y Nueva Guinea y Tasmania. Indonesia, península meridional de Asia durante la edad de los hielos, pasó a ser un archipiélago y el espacio abierto entre Indonesia, Australia y Papúa y Nueva Guinea se ensanchó. Instalados ya los humanos en todo el planeta, esta ruptura de los antiguos nexos amenazó con dividir a los humanos en poblaciones separadas, cada una con una historia aparte. Como ha dicho Robert Wright: «El Viejo Mundo y el Nuevo se convirtieron en tubos de ensayo de la evolución cultural^[4]».



MAPA 8.1. Zonas mundiales del Holoceno.

La separación no fue completa en ningún momento. La llegada de los dingo a Australia, hace quizá 4000 años, y de los pescadores trepang de Indonesia en siglos más actuales, demuestra que Australia no estuvo nunca totalmente aislada de Indonesia y Asia. Y Papúa y Nueva Guinea ha tenido contactos innegables con los austronesios que han emigrado a Indonesia desde 1600 a. C.^[5] La escasa extensión del estrecho de Bering y la breve existencia de una colonia vikinga en Terranova ponen de manifiesto que América no estuvo nunca totalmente aislada de Eurasia. Además, la presencia de batatas sudamericanas en Polinesia demuestra que hubo contactos entre América y las diversas comunidades que colonizaron el Pacífico.

durante los últimos 3000 años. Sin embargo, fueron tan limitados que es lícito afirmar que durante buena parte del Holoceno, los últimos 4000 años, la historia humana se desarrolló en tres zonas mundiales diferenciadas, a las que habría que añadir otra, la del Pacífico^[6]. Estas grandes zonas fueron la afroeuroasiática, que comprendía África, toda Eurasia continental y las islas periféricas como Gran Bretaña y Japón; América, desde Alaska hasta la Tierra del Fuego, y las islas periféricas como las Antillas; Australia y Papúa y Nueva Guinea; y desde 4000 a. p. aproximadamente, las sociedades isleñas del Pacífico (véanse los mapas 8.1 y 8.2).

Dentro de estas zonas, y en principio por lo menos, las ideas, las influencias, las técnicas, las lenguas e incluso algunos bienes pudieron desplazarse de un extremo a otro. Siempre hubo un contacto indirecto entre Papúa y Nueva Guinea y Australia a través de la cadena de islas del estrecho de Torres. En Australia, los bienes de prestigio, como el nácar del noroeste, recorrían por trechos buena parte del continente, mientras que las caracolas de la especie *Melo amphora* del cabo York, en el extremo nororiental, se transformaban en adornos que se utilizaban en los rituales y la brujería de Australia meridional y los desiertos de Australia occidental^[7]. Las islas de Polinesia y Micronesia fueron colonizadas en el curso de una serie de migraciones por comunidades cuyas semejanzas se ven en los idiomas y en los restos arqueológicos de las llamadas culturas de Lapita^[8]. En Afroeurasia, el Sahara fue una región de estepas y sabanas hasta hace 4000 años aproximadamente y en consecuencia el África subsahariana no estuvo separada del resto de la región como lo ha estado desde entonces. Las tecnologías del pastoreo se originaron en Eurasia Interior y en el África sahariana, desde donde se difundieron por las estepas euroasiáticas y hacia Siberia oriental, por un lado, y hacia Oriente Medio y África oriental por el otro. Las lenguas indoeuropeas se extendieron hasta Sinkiang, la India y Europa occidental; las lenguas afroasiáticas se extendieron por buena parte de África y por Oriente Medio; y las lenguas altaicas pasaron de Mongolia a Anatolia. En América, la primera oleada migratoria viajó, generación tras generación, de Alaska a la Tierra del Fuego, originando, como ha demostrado el lingüista Joseph Greenberg, una zona lingüística coherente que abarcaba toda América del Sur y casi toda América del Norte^[9].



MAPA 8.2. La zona afroeuroasiática.

Nos será útil considerar estas regiones como zonas independientes durante gran parte del Holoceno porque de este modo distinguiremos las tendencias universales de las regionales. Hay paralelismos asombrosos entre estos mundos, pero también hay diferencias llamativas e importantes. En todas las zonas hubo alguna clase de intensificación y el constante crecimiento de la capacidad adaptativa que ya se había hecho notar en el Paleolítico se mantuvo en todo el planeta. Pero el ritmo del cambio variaba, al igual que el carácter de las adaptaciones que se producían en cada zona. El principal objetivo de los tres capítulos siguientes será explicar las semejanzas y las diferencias de la historia de cada zona^[10].

¿QUÉ ES LA AGRICULTURA?

Entre todas las formas de intensificación de comienzos del Holoceno, la agricultura es con diferencia la más importante. Pero ¿qué es la agricultura?

Al igual que los «agricultores de las antorchas» descritos en el capítulo anterior, los labradores preparan sistemáticamente el entorno para fomentar el desarrollo de las especies vegetales y animales que les parecen más útiles. Pero la agricultura eleva la productividad a un nivel particular, intensificando la preparación hasta tal punto que al final transforma las especies favorecidas mediante una forma primitiva de selección artificial. Se basa en la forma primitiva de ingeniería genética que se denomina *domesticación artificial*.

La domesticación y la domesticación artificial

La domesticación es un proceso simbiótico en el que una especie, en vez de depredar a otra, la protege y estimula su reproducción para crear una fuente de alimentación más segura. Hemos visto que este modelo de coevolución, que va de la depredación a la simbiosis, es frecuente en la historia evolutiva, y hay una buena lógica darwiniana para ello. Como la depredación intensiva puede destruir la especie explotada, los depredadores más eficaces (grandes y pequeños) son los que seleccionan la presa e incluso procuran mantener su supervivencia como especie. Las dos especies se benefician de una relación así. Mientras la depredadora adquiere más control sobre una importante fuente de alimentación, la especie explotada encuentra un protector dispuesto a asegurar su supervivencia y su reproducción, aunque pagando un precio. Las ovejas y el maíz no serían tan abundantes si los humanos no hubieran domesticado unas y aclimatado el otro. La aclimatación y la domesticación se producen entre muchas especies. Hay, por ejemplo, especies de hormigas que tratan a los pulgones más o menos como nosotros a las vacas, a cambio de la sustancia azucarada que exudan. Pinchan con las antenas a los pulgones cautivos para estimular la producción de la sustancia. A cambio de ésta, las hormigas cuidan de los pulgones y permiten que se reproduzcan^[11].

No hay una línea tajante que separe la depredación de la aclimatación y la domesticación. Pero en las relaciones estrechamente simbióticas, las dos especies cambian, conductual o genéticamente, hasta que se alcanza un punto a partir del cual una o las dos no pueden vivir ya sin la otra. En la historia humana, los cambios genéticos se han producido principalmente en las especies domesticadas y aclimatadas. También los humanos han cambiado genéticamente; por ejemplo, algunos han adquirido mayor capacidad para digerir la leche de los animales domesticados. Pero las adaptaciones humanas más significativas han sido conductuales y culturales. La aceleración del cambio cultural explica por qué las

simbiosis de los humanos se desarrollaron más aprisa que las relaciones simbióticas entre los no humanos.

La domesticación describe esa etapa de la simbiosis en la que al menos una parte ya no puede vivir por sí sola. En el caso de la agricultura significa que las especies aclimatadas ya no pueden vivir o reproducirse sin la intervención humana y que muchas comunidades humanas tampoco pueden vivir ya sin sus especies aclimatadas predilectas. Las ovejas domesticadas son demasiado lentas y torpes para vivir en la naturaleza, y el maíz actual no se puede reproducir ya sin la intervención humana, porque sus semillas no se pueden esparcir libremente^[12]. En una historia reciente del origen de la agricultura, Bruce Smith dice que la domesticación es «la creación, por parte de los humanos, de una nueva forma de vegetal o de animal que es claramente distinta de sus antepasadas silvestres y de la parentela silvestre que le queda^[13]». La creación de especies animales nuevas comienza cuando los humanos controlan la reproducción de sus animales y les impiden el contacto con las poblaciones salvajes. En el caso de las plantas aclimatadas, empieza con la cosecha, la siembra y el desbroce, dado que estas prácticas las alejan del contacto genético con las poblaciones vecinas y les da una ventaja artificial sobre sus primas silvestres. En ambos casos, la intervención humana levanta una barrera entre las especies silvestres y las aclimatadas. Esto estimula los cambios genéticos rápidos de un modo parecido a la especiación alopátrica, aunque aquí son los humanos, y no las migraciones o los cambios geográficos, quienes levantan barreras genéticas entre poblaciones de la misma especie.

Una vez que los humanos separan una población de sus parientes silvestres, ésta puede evolucionar muy aprisa^[14]. Los arqueólogos están familiarizados con ciertos cambios. Las fanerógamas aclimatadas suelen tener apretados racimos de semillas que están más firmemente prendidos del tallo que los de las variedades silvestres, porque para los humanos es más fácil recoger (y, por lo tanto, volver a plantar) las densas concentraciones de semillas; también es probable que las semillas aisladas o prendidas irregularmente del tallo se caigan durante la cosecha, de manera que no es fácil que vuelvan a plantarse. Las plantas aclimatadas tienden además a desarrollar semillas grandes con tegumento fino, por motivos parecidos. Si se plantan semillas muy juntas y han de competir por la luz solar, es más probable que sobrevivan las que echaron los primeros brotes; y es probable asimismo que éstas tengan un tegumento fino y mayores depósitos alimenticios internos, lo cual les da cierta ventaja sobre sus rivales. Y es más factible igualmente que los humanos, para la siguiente siembra, elijan las que echan brotes más lozanos, más gallardos y más aprisa. Así, cuando buscan indicios de aclimatación, los paleobotánicos buscan semillas que sean más grandes y tengan un tegumento más fino que las variedades silvestres, que estén unidas en racimos y que estén más firmemente adheridas al tallo por un fuerte raquis (el eje de conexión). Los animales domesticados sufren cambios parecidos, aunque son más difíciles de detectar en el registro arqueológico. Un indicador habitual es la

reducción de tamaño, ya se deba a la selección artificial, para obtener especímenes más dóciles y manejables, o a la inferior alimentación determinada por la domesticación. Otro indicador es la composición de la manada. En las manadas domesticadas, las hembras suelen exceder en número a los machos, porque los machos se sacrifican antes. También suele sacrificarse a los especímenes viejos de las manadas domesticadas.

Agricultura no es lo mismo que *aclimatación*. Muchas sociedades han adoptado formas limitadas de domesticación sin haber dependido de los animales y las plantas ni haberse vuelto sedentarias. Aunque las sociedades dedicadas al pastoreo dependen tanto de las especies domesticadas como las dedicadas a la agricultura, las especies en cuestión son animales, no vegetales. Y las sociedades ganaderas, como las recolectoras, suelen ser nómadas. Por el contrario, las sociedades agrarias normalmente explotan tanto las plantas aclimatadas como los animales domesticados y casi todas son sedentarias. Aunque las comunidades agrícolas pueden seguir cazando y pescando, la base de su subsistencia procede de las especies aclimatadas y domesticadas. Por último, las plantas aclimatadas suelen ser más importantes en las sociedades agrarias que los animales domesticados. Es una consecuencia de la ley ecológica básica que dice que los organismos más bajos de la cadena alimentaria transmiten la energía de la luz con más eficacia. En cada etapa de la cadena alimentaria se pierde alrededor del 90 por 100 de esa energía; así pues, los modos de vida humanos que dependen sobre todo de los productos vegetales pueden soportar por lo general mayores densidades demográficas que los modos de vida (como el pastoreo) que dependen sobre todo de los productos animales. Las plantas aclimatadas son, pues, responsables de casi todo el dinamismo demográfico de la revolución agrícola.

Como se ve en la tabla 8.2, la domesticación de distintas especies de plantas y animales se mantuvo durante todo el Holoceno y se produjo, al parecer independientemente, en diferentes regiones del planeta. Sin embargo, las cifras sólo reflejan los testimonios más antiguos. El paso de la domesticación a las formas de vida basadas sobre todo en la agricultura fue rápido en unas regiones (como Asia suroccidental, Asia central y China) y más lento en otras, en particular en América, donde hay un vacío de miles de años entre los indicios más antiguos de domesticación y los primeros testimonios de formas de vida con predominio de la agricultura.

TABLA 8.2. PRIMEROS INDICIOS CONOCIDOS DE ACLIMATACIÓN Y DOMESTICACIÓN DE ESPECIES.

<i>Fecha (en milenios a.p.)</i>	<i>Asia suroccidental</i>	<i>Asia central/oriental</i>	<i>África</i>	<i>América</i>
13-12				perro
12-11	perro, cabra, oveja,			
11-10	escaña menor, escanda, cebada, guisante y lenteja, cerdo			
10-9	centeno, vaca			calabaza vinatera, calabaza
9-8	lino			pimienta, aguacate, alubia
8-7		panizo, calabaza vinatera, perro		maíz, llama
7-6	palmera datilera, vid	castaña de agua, mijo, morera, arroz, búfalo de agua	<i>Panicum sanguinale</i>	
6-5	olivo, asno	caballo, cebú, cebolla	palma de aceite, sorgo	algodón
5-4	melón, puerro, nuez	camello	¿ñame?, <i>Vigna sinensis</i>	cacahuete, batata
4-3	dromedario	ajo	<i>gato, Pennisetum glaucum</i>	cobayo, mandioca
3-2				patata, pavo
2-1				piña, tabaco

FUENTE: Adaptado de Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998², p. 136.

Cronología y geografía del comienzo de la domesticación

Las investigaciones en curso podrían hacer retroceder en el tiempo las fechas registradas en la tabla 8.2, quizá unos centenares de años, en algunos casos unos milenios. Asimismo, los investigadores podrían identificar otros centros de domesticación descuidados hasta ahora. Hay candidatos probables en los trópicos,

concretamente en Papúa y Nueva Guinea, en Indonesia y en las pluvisilvas brasileñas (donde los productos principales eran la mandioca, la patata y el cacahuete). En algunas zonas de Papúa y Nueva Guinea probablemente se cultivaba ya la colocasia hace 9000 años; hace entre 5000 y 6000, la agricultura propiamente dicha, con especies autóctonas (o quizás importadas) de colocasia y ñame como productos principales, sostenía aldeas permanentes formadas en los claros de los bosques de toda la isla^[15].

Francis Galton dijo hace más de un siglo que los primeros pasos hacia la domesticación comportaron una especie de «prueba de audición» ecológica. Los humanos sin duda «escucharon» a numerosas especies explotadas, pero muchas no pasaron la prueba porque carecían de alguna cualidad crucial necesaria para convertirlas en objeto de adaptación. Entre las especies descartadas estuvieron el ciervo (que era demasiado asustadizo), las bellotas y las avellanas (que eran menos nutritivas y más difíciles de almacenar que los cereales y las legumbres aclimatadas, aunque los dos productos siguieron utilizándose como recursos de las épocas de hambre). La primera especie animal que los humanos consiguieron domesticar fue probablemente el lobo. Los lobos se domesticaron a finales del Paleolítico Superior y todas las razas de perros domésticos actuales proceden de aquellos lobos domesticados^[16]. Pero éstos no tuvieron el impacto transformativo de las especies domesticadas en fecha posterior, porque lejos de ofrecer una alternativa a la vida recolectora, fueron utilizados para la caza.

La «revolución neolítica» empieza en realidad con la aclimatación de una pequeña cantidad de espermafitos o plantas con semillas. Los testimonios más antiguos de este cambio proceden de Asia suroccidental, del estrecho corredor que une África con Eurasia, la red premoderna de intercambio más grande de la Tierra. Seguramente no es casual que la agricultura apareciese en el ámbito de la zona mundial más grande y antigua, la afroeurasiática. Y tampoco es una casualidad que apareciera en el corredor que unía dos regiones diferenciadas, porque las regiones «axiales» de este jaez (véase el capítulo 10 para una descripción más detallada) eran como centros de intercambio de la información ecológica acumulada en áreas extensas. Otra región axial, Centroamérica, unía las dos masas continentales americanas y también allí apareció la agricultura en fecha temprana.

Los centros agrícolas más antiguos de Afroeurasia están encerrados en una región que los arqueólogos llaman Creciente Fértil. Es un arco de tierras altas que discurre hacia el norte abarcando parte de lo que hoy son Israel, Jordania y el Líbano, luego dobla hacia el este por la frontera de Turquía y Siria, y baja hacia el sur por los montes Zagros, en la frontera Irak-Irán. Por lo menos ocho especies vegetales se aclimataron en esta región entre 11 000 y 9000 a. p. Fueron las lentejas, los guisantes, los garbanzos, las algarrobas, el lino, la escaña menor, la escanda y la cebada. Parece que estos tres cereales fueron aclimatados juntos en los alrededores de Jericó, entre 11 500 y 10 700 a. p., probablemente por comunidades que ya los habían recolectado

en estado silvestre^[17]. En el curso de esos siglos los tres experimentaron cambios normalmente asociados a la aclimatación. Desarrollaron semillas más grandes y un fuerte pedúnculo que mantenía las semillas unidas al tallo.

Las ovejas y las cabras fueron domesticadas probablemente en la zona norte del Creciente Fértil por comunidades que hasta entonces se habían dedicado a cazarlas. En general, sin embargo, parece que los animales se domesticaron un poco después de haberse aclimatado algunas plantas. Es posible que una condición previa para la domesticación de animales fuera en muchas áreas la existencia de cultivos que pudieran utilizarse como pienso. Los cerdos se domesticaron al norte del Creciente Fértil, en la actual frontera entre Turquía y Siria^[18]. A diferencia de las ovejas y las cabras, compiten con los humanos por la comida, lo que tal vez fuese el motivo de que se les domesticara después. También las vacas se domesticaron después que las ovejas y las cabras. Los primeros restos seguros de bovinos domesticados se remontan aproximadamente a 9300 a. p.^[19]. El retraso puede deberse a que el antepasado salvaje de los bovinos, el uro, era un animal peligroso. (Lo sabemos porque ha habido uros salvajes hasta hace tres siglos: el último se dibujó en Polonia a principios del siglo XVII). Sin embargo, los uros eran gregarios, como las ovejas y las cabras. Esto significa que era posible dominar manadas enteras domando o sustituyendo a los jefes^[20]. La domesticación de los bovinos, como la de las ovejas y las cabras, empezó a producir cambios genéticos conforme se iban sacrificando los especímenes con características indeseadas como el miedo o la agresividad (o la inteligencia).

China fue la segunda región donde comenzó la domesticación de especies. Investigaciones recientes han revelado que se produjo antes de lo que se creía en otras épocas. El arroz se aclimató probablemente en el sur de China, siguiendo el curso del Yangtsé, hace entre 9500 y 8800 años, y lo aclimataron recolectores que ya habían recolectado arroz silvestre. El panizo se aclimató siguiendo el curso del río Amarillo, en el norte de China, hace 8000 años. Cabe la posibilidad de que, de manera independiente, se domesticaran cerdos en el norte. En el octavo milenio a. p. ya estaban consolidados tanto los sistemas del norte, basados en el panizo, como los del sur, basados en el arroz.

Entre 6000 y 4000 a. p. hubo otra oleada de domesticación en África. Hace por lo menos 4000 años, y tal vez mucho antes, se aclimataron en el sur del Sahara variedades locales del panizo y el sorgo. La diversidad de las condiciones y la aparición de especímenes muy distintos de los del Creciente Fértil dan a entender que lo ocurrido en el Asia suroccidental influyó poco en las domesticaciones del África subsahariana.

La investigación reciente sugiere que el proceso se produjo en América más tarde de lo que se pensaba. No se encuentra en ningún lugar ningún indicio firme de ninguna domesticación en curso antes de 5500 a. p. Tal es la datación de la muestra más antigua de maíz aclimatado que se ha encontrado hasta hoy, en el valle de

Tehuacán, al sureste de Ciudad de México. El maíz procede de una especie silvestre llamada teocinte; con las alubias (o fríjoles) y ciertas variedades de calabaza, acabó siendo la planta aclimatada más importante de América. La única región americana donde los animales domesticados desempeñaron algún papel fue el subcontinente meridional. Los conejillos de Indias, las llamas y las alpacas se domesticaron hace por lo menos 4000 años, aproximadamente cuando se aclimataban la quinua y las patatas. Los animales domesticados tuvieron menos importancia en América porque las especies con más potencial, como los caballos y los camellos, se habían extinguido al final de la última glaciación, probablemente a causa de la depredación excesiva de los humanos. En el fondo, el gran vacío que hay en la prehistoria americana hasta que aparecen las primeras formas de domesticación y de agricultura estable podría explicarse en parte por la escasez de especies potencialmente domesticables que sobrevivieron a la primera oleada de invasores humanos que llegó a la región^[21].

También hubo domesticación en la tercera zona mundial, la de Papúa y Nueva Guinea. Aquí se produjo antes, pero su impacto fue más limitado que en las otras zonas.

Cuando apareció, la agricultura no arrasó con todo. Desde el punto de vista moderno, lo sorprendente del período abarcado en este capítulo es la lentitud con que se difundió la agricultura. Aunque algunas comunidades empezaron a depender de sus cultivos y se volvieron totalmente agrícolas, muchas conservaron su tradicional estilo de vida recolector, mientras adoptaban un par de cultivos a modo de complemento. En Papúa y Nueva Guinea han coexistido las comunidades agrícolas con las recolectoras hasta los tiempos modernos. En América, la lentitud con que se difundió la aclimatación se ve sobre todo en las comunidades del este de América del Norte que aclimataron girasoles y calabazas vinateras. La falta de especies apropiadas podría explicar el lento progreso de la agricultura en esta región. Aunque al sur estuvieran afianzadas las formas de vida agrícola cuando aquéllas empezaron a plantar productos locales, hace unos 4000 años, la caza y la recolección siguieron siendo importantes durante otros 3000, porque los cultivos locales no permitían completar el paquete nutricional. Cuando hace 1800 años llegó el maíz mexicano, no prosperó. La agricultura no despegó en la región hasta 700 años después, cuando se introdujeron otras variedades capaces de soportar los inviernos del norte, junto con las alubias y las calabazas mexicanas^[22].

La serie de animales domesticados y plantas aclimatadas característica del Creciente Fértil apareció en África nororiental, en la cuenca del Nilo, después de 9000 a. p. (aunque la cebada crecía silvestre en Egipto), pero pasaron miles de años hasta que proliferaron las aldeas agrícolas.

La domesticación pasó del Creciente Fértil a los Balcanes y a las costas mediterráneas de Italia y Francia hace unos 9000 años. De aquí se difundió hacia el norte, a zonas templadas con clima y ecología propios donde los métodos tuvieron

que modificarse hasta que dieron resultado. Hasta hace algún tiempo se pensaba que la agricultura había «avanzado» por Europa como una ola hace entre 6000 y 8000 años. Sin embargo, estudios posteriores han puesto de manifiesto que este avance fue más lento y menos triunfal de lo que se creía. Las comunidades agrícolas se instalaron sobre todo en regiones con suelo de loes, que se trabaja fácilmente. Pero en otros lugares, en especial en el noroeste y el noreste, su impacto fue limitado durante milenios. Antes bien, las comunidades locales de recolectores adoptaban a menudo técnicas agrarias y mantenían relaciones comerciales con comunidades agrícolas, sin convertirse en agricultores. La domesticación y la vida agrícola asociada al proceso siguieron siendo simplemente opciones o complementos de la vida recolectora; los recolectores y los agricultores estuvieron vinculados en redes regionales de intercambio en muchas áreas del mundo neolítico.

Podemos ver pautas parecidas en otras zonas que fueron influidas pero no dominadas por la agricultura al principio de la era agraria, desde la Rusia europea hasta Asia central y el norte de México.

EL ORIGEN DE LA AGRICULTURA

¿Cómo explicaríamos la transición a la agricultura^[23]?

En principio se diría que la respuesta es sencilla. Gracias al aprendizaje colectivo, las comunidades humanas siguieron explorando formas de extraer recursos del entorno, hasta que al final dieron con la agricultura. Además, la agricultura era hasta tal punto más productiva que la mayoría de las modalidades recolectoras que es una tentación suponer que nada más «inventarse» se difundió con rapidez. Los primeros intentos de explicar la revolución del Neolítico se basaron en este supuesto, ya que entendieron la agricultura como una invención que se difundió a partir de un único centro a causa de su evidente superioridad sobre las demás adaptaciones humanas.

Sin embargo, las investigaciones del siglo xx han detectado dos problemas importantes en esta clase de explicaciones. En primer lugar, como hemos visto, la agricultura no se difundió desde un centro único. Lejos de ello, apareció, en principio de manera independiente, en diversas regiones de las tres grandes zonas mundiales. ¿Cómo se puede explicar la relativa simultaneidad del proceso en regiones que al parecer no tenían ningún contacto entre sí? Como ha señalado Mark Cohen: «Lo más sorprendente de los inicios de la agricultura [...] es precisamente que se trata de un fenómeno universal^[24]».

En segundo lugar, no podemos ya dar por sentado que las comunidades recolectoras adoptaran la agricultura una vez que conocieron su tecnología. En realidad, no estamos tan seguros de que la aparición de la agricultura haya de considerarse automáticamente una señal de progreso. Es verdad que la agricultura puede alimentar a una población mayor que la economía recolectora, y es probable

que a largo plazo las comunidades agrícolas desbancaran a las recolectoras cuando las dos entraran en conflicto. Pero es un hecho que muchas comunidades recolectoras se han negado a adoptar prácticas agrícolas a pesar de tener conocimiento de ellas. Como algunos miembros de una comunidad recolectora del desierto de Kalahari dijeron a un investigador moderno, ¿para qué querría nadie ser agricultor habiendo tanto fruto de mongongo al alcance de la mano? Las poblaciones aborígenes del extremo norte de Australia, sobre todo las del cabo York, conocían la agricultura, dado que los habitantes de las islas que tenían al norte la practicaban. Pero no quisieron adoptarla. También en Rusia y en Ucrania coexistieron los recolectores y los agricultores, tal vez durante miles de años, desde que los agricultores llegaron a la región hace entre 6000 y 7000 años^[25]. Para los recolectores, la agricultura fue una opción, no una necesidad.

Y su conservadurismo pudo haber sido perfectamente racional y lógico. Los testimonios procedentes de los restos óseos revelan que las primeras formas de agricultura desarrollaron enfermedades y tensiones de nuevo cuño^[26]. En los climas cálidos, la dieta de los agricultores es menos variada que la de los recolectores y, por lo tanto, sufren más escaseces periódicas; los recolectores pueden recurrir más fácilmente a otras fuentes alimenticias. El hambre generalizada es, paradójicamente, un efecto secundario de la revolución agrícola. Las comunidades agrícolas están asimismo más expuestas a enfermedades que transmiten las ratas, los ratones, las bacterias y los virus y que prosperan en las comunidades sedentarias relativamente grandes. Y algo más importante aún: las comparaciones genéticas entre bacterias patógenas modernas dan a entender que en las regiones de Afroeurasia donde había concentraciones de animales domesticados, las bacterias patógenas de las vacas, las gallinas o los cerdos pasaban fácilmente a los humanos. Las enfermedades aprovecharon el hecho de que también los humanos se convirtieron en animales gregarios cuando formaron aldeas estables y se dedicaron a cultivar la tierra^[27]. Las cepas más tenaces, que han sobrevivido hasta el punto de volverse endémicas, por ejemplo la viruela y la gripe, fueron las que infectaron a los anfitriones humanos sin matarlos. Los esqueletos del Neolítico parecen en general más pequeños que los de las sociedades recolectoras de la Edad de Piedra y esto podría ser otro indicio del deterioro de la salud en las primeras comunidades agrícolas; además, no hay indicios de que con la adopción de la agricultura aumentase la esperanza de vida o se redujera la mortalidad infantil^[28]. A lo sumo, sólo el 50 por 100 de los niños nacidos tenía posibilidades de llegar a la vida adulta en ambas clases de sociedad; y la esperanza de vida de los que sobrevivían oscilaba entre los treinta y cinco y los cuarenta años, aunque algunos llegaban a cincuenta y sesenta^[29]. En general, parece que la introducción de la agricultura tendió más a empeorar la calidad de vida que a mejorarla. John Coatsworth ha dicho: «Los bioarqueólogos han encontrado vínculos entre la transición a la agricultura, un deterioro importante de la nutrición y el aumento de las enfermedades, la mortalidad, el agotamiento y la violencia en las

zonas donde los restos óseos permiten comparar la calidad de vida humana antes y después del cambio^[30]».

Toda historia veraz del comienzo de la agricultura debe explicar tanto la cronología de los orígenes como los motivos por los que las comunidades recolectoras adoptaron la vida agrícola a pesar de sus aparentes desventajas. ¿Por qué iba a querer nadie una vida basada en las fatigas de la siembra, la cosecha y la preparación de una pequeña variedad de productos cuando era tan fácil arrancar plantas o cazar animales más variados, más grandes y de preparación más sencilla?

Posibles «primeros motores» de la revolución del Neolítico

Los intentos modernos por explicar la revolución del Neolítico se remontan a la década de 1920. El genetista ruso N. I. Vavilov se puso a analizar especímenes actuales de plantas aclimatadas, convencido de que el lugar donde hubiera más variedad genética sería asimismo su lugar de procedencia y quizás también el lugar donde empezaron a cultivarse. Identificó ocho «cunas» posibles de la agricultura inicial. La lista de cunas de Vavilov se parece a otras listas posteriores y la paleobotánica moderna se basa en el principio de que el estudio de las plantas actuales puede darnos mucha información sobre los primeros tiempos de la aclimatación. V. Gordon Childe aducía que el cambio climático podía haber creado «oasis» de colonización densa cuyos habitantes, para sobrevivir, se vieran obligados a intensificar sus métodos de producción. En términos generales, el postulado sigue teniendo cierta validez, pero los detalles del planteamiento inicial ya no se sostienen. El primero en realizar estudios arqueológicos sistemáticos sobre el origen de la agricultura en Irak fue Robert Braidwood, que investigó dos aldeas, Karim Shahir y Jarmo: la primera estuvo habitada por recolectores, la segunda por agricultores. Y Richard MacNeish, a finales de la década de 1940, inauguró el estudio del origen de la agricultura americana con una serie de expediciones dedicadas a desentrañar los primeros pasos del maíz^[31].

Desde entonces, las investigaciones sobre el origen de la agricultura se han multiplicado. Hoy conocemos con relativa claridad sus componentes principales, pero aún no sabemos con exactitud cómo se relacionan entre sí. Los factores principales son el cambio climático; ciertas modalidades de intensificación entre los recolectores; el crecimiento demográfico, que en algunas regiones obligó a las comunidades recolectoras a explotar territorios de tamaño decreciente con más intensidad; el aumento de los intercambios entre comunidades; y, por último, la disponibilidad de especies aclimatables y domesticables. Cualquier explicación que se proponga está obligada a combinar estos elementos, todos o algunos. La versión que sigue combina los argumentos de varios modelos estrechamente relacionados y datos procedentes de varias regiones, aunque cuadra mejor con lo que sabemos de Mesopotamia y el

Creciente Fértil. Sostiene que en la aparición de la agricultura hubo varias etapas que se dieron, con variantes menores, en todas las regiones donde empezaba la domesticación^[32].

Como advertirá el lector, la versión simplificada que presento difiere de las historias triunfalistas de principios del siglo xx. Por el contrario, y a semejanza de lo que cuenta el Génesis, mi historia describe una tentación, una caída y una expulsión del Edén.

Adaptaciones culturales previas y saber ecológico. Casi todas las comunidades del Paleolítico Superior conocían en todo o en parte lo que los agricultores necesitaban saber. Desde el punto de vista tecnológico, estaban preparados para adoptar la agricultura. Suponemos que es así porque las comunidades recolectoras modernas tienen un conocimiento especializado de las plantas y los animales de su entorno. Conocen las condiciones en las que prosperan las especies favorecidas y saben cómo nutrirlas y potenciarlas, por ejemplo, eliminando malas hierbas u otros rivales. Casi todas las sociedades reducidas saben que las plantas nacen de semillas o de esquejes y que los humanos pueden estimular o inhibir su desarrollo^[33]. Donald O. Henry ha descrito el saber ecológico de las poblaciones paleolíticas diciendo que fue una de las condiciones «indispensables» para la aparición de la agricultura^[34].

Se tiene asimismo la certeza de que entre los recolectores que tenían poco o ningún contacto con la agricultura aparecieron formas significativas de intensificación. Los antropólogos suelen referirse a estas comunidades como a comunidades de «recolectores prósperos». En el capítulo anterior se han descrito las impresionantes culturas de la caza del mamut de la Ucrania del Paleolítico Inferior y se han mencionado las densas poblaciones de la Francia meridional, que vivían explotando las abundantes reservas de caza y pesca que había inmediatamente al sur de los glaciares europeos. Dondequiera que encontramos comunidades recolectoras que se vuelven más sedentarias, sabemos que están empleando tecnologías más intensivas, porque para quedarse mucho tiempo en un sitio tienen que aprovechar los recursos del lugar más intensivamente. Ahora bien, esta clase de intensificación se hace más patente en los primeros milenios que siguieron a la última glaciaciación. De un modo u otro, encontramos intensificación en las tres zonas mundiales y en las tres produjo cierto nivel de sedentarismo (es decir, la tendencia a ocupar lugares más o menos fijos). Es importante insistir en este punto porque a menudo se ha creído que ciertas regiones del mundo se estancaron mientras se implantaba la agricultura en otras zonas más privilegiadas.

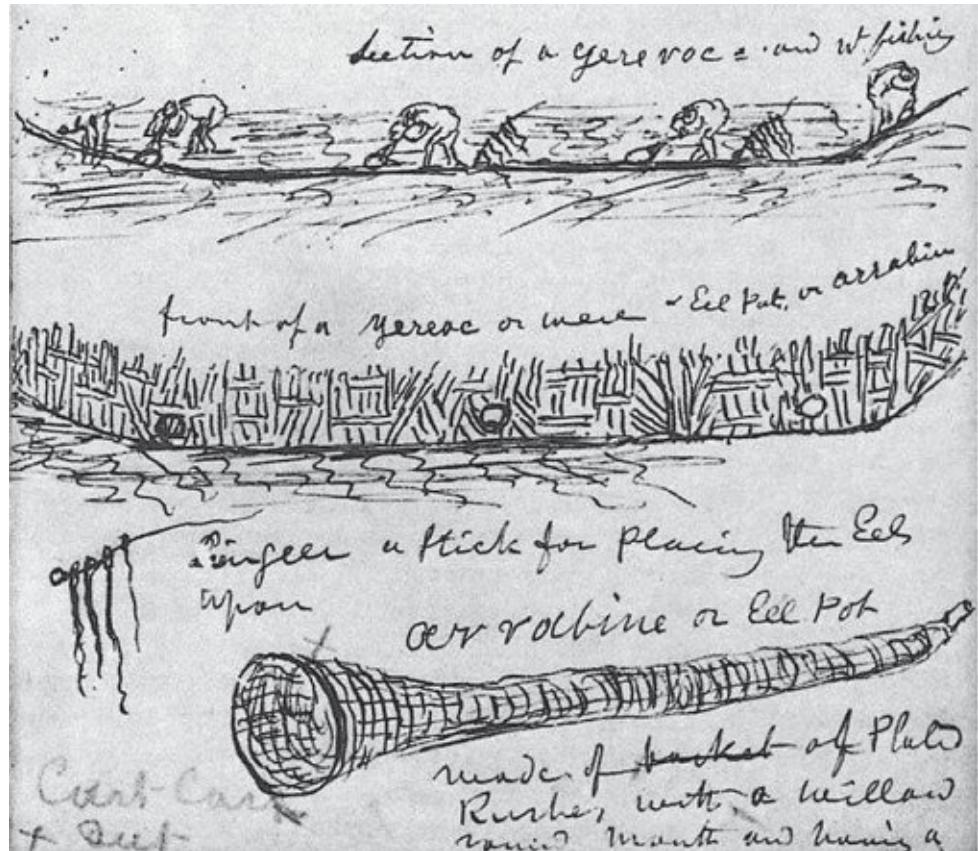


FIGURA 8.3. Intensificación en Australia: trampas para anguilas. Nasa y trampa para anguilas dibujadas por G. A. Robinson en 1841 en Victoria occidental. En la mitad superior vemos la «parte frontal de un yeroec o encañizada» con «nasas o arrabines» en los agujeros de escape de la encañizada; en la mitad inferior vemos un «lingeer o palo para colgar las anguilas» y debajo una «arrabine o nasa para anguilas, hecha con juncos trenzados». Tomado de Josephine Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, Collins, Sidney, 1983, p. 206, que se basa en el diario de George Augustus Robinson de 1841. Con permiso de la Mitchell Library de Sidney, Australia.

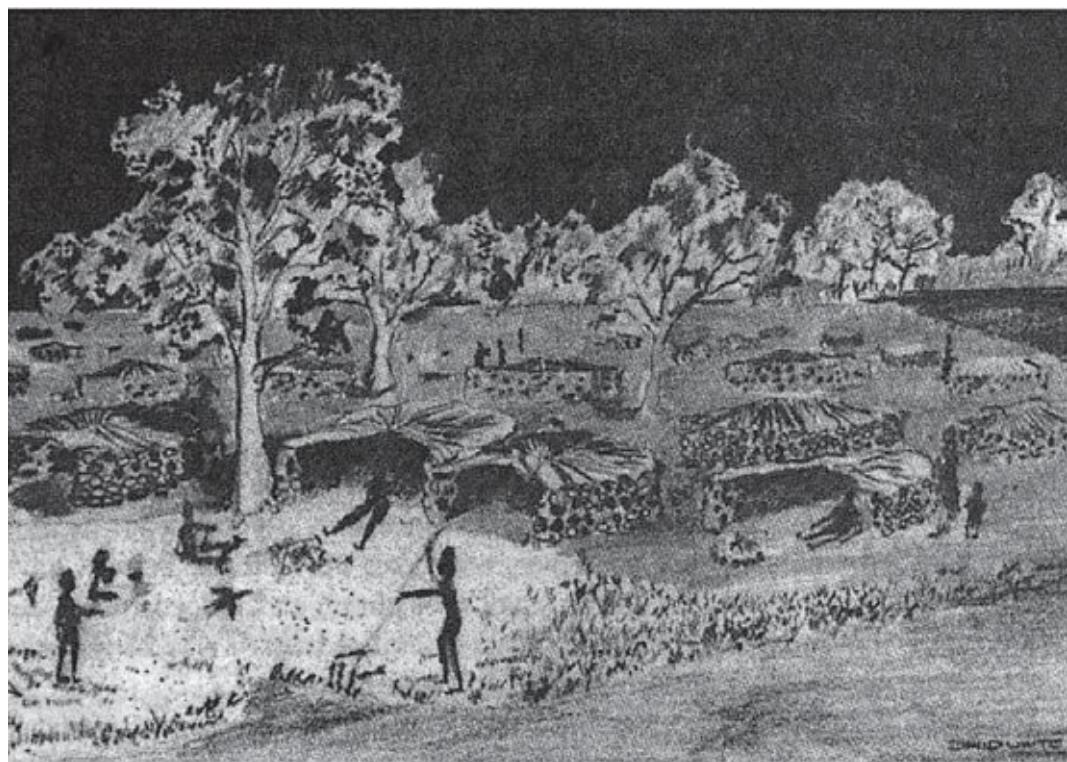


FIGURA 8.4. Intensificación en Australia: casas de piedra. Se han hallado más de 140 casas de piedra junto al lago Condah, en la provincia australiana de Victoria. Tomado de Josephine Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, Collins, Sidney, p. 107; ilustración de David White, *Age*, 29-1-81.

En Australia hay actualmente multitud de indicios de intensificación que se remontan sobre todo a los últimos 5000 años. La intensificación permitía el crecimiento demográfico y produjo sedentarismo en algunas zonas. El instrumental lítico fue mucho más variado en este período. En muchas zonas de Australia aparecen herramientas nuevas, más pequeñas y trabajadas con más precisión, por ejemplo las pequeñas puntas de Australia central que posiblemente se emplearon como puntas de lanza (en Australia no hay testimonios de arcos ni flechas). Algunas puntas estaban tan bien hechas que se tenían por objetos rituales y se comerciaba con ellas en un radio de cientos de kilómetros. En otras partes se fabricaban hojas reforzadas, que probablemente se incrustaban en armas como las temibles «lanzas de la muerte», cuyos bordes dentados garantizaban que las heridas que causasen fueran casi siempre mortales^[35]. El dingo, un perro semisalvaje, apareció en la zona hace unos 4000 años, y dado su estrecho parentesco con los perros modernos de la India, es probable que no llegara de Indonesia, sino de la orilla opuesta del océano Índico^[36].

Nuevas técnicas quiere decir nuevas formas de obtener recursos. En el estado de Victoria, en Australia, se construían trampas complejas para anguilas que, en ocasiones, incluían canales de 300 metros de longitud (véase la figura 8.3). Josephine Flood las describe del siguiente modo:

Se tendían trampas a lo ancho de acequias y canales construidos con piedras; en las aberturas de las paredes, que por lo general tenían forma de «V», se colocaban nasas o redes. Las nasas, que son redes tubulares, se trenzaban con tiras de corteza de árbol o con juncos, y en la boca tenían un aro de madera de sauce. Los hombres se quedaban detrás de la encañizada, listos para atrapar las anguilas según fueran saliendo por el extremo posterior de la nasa. Mataban a las anguilas dándoles un bocado en la cabeza^[37].

En aquellas trampas se pescaban tantas anguilas que acabaron siendo la base de muchos poblados relativamente estables (véase la figura 8.4). La conservación de chozas de escasa altura y construidas con piedras, en agrupaciones de variado tamaño (en un caso, hasta 146 chozas en un solo lugar), confirma los testimonios de los primeros viajeros europeos sobre la existencia de aldeas indígenas en la zona^[38]. Estas comunidades vivían de la variada gama de animales comestibles que había en la región, desde el emú hasta el canguro, y de productos vegetales como el ñame, el helecho y la enredadera.

Los anzuelos de concha fueron una innovación que permitió explotar más fuentes alimenticias y propició el crecimiento de la población de las costas australianas. Algunas comunidades empezaron a recolectar ñames, frutas y granos de un modo que sugiere la existencia de una agricultura en ciernes. Los métodos que se aplicaban (y todavía se aplican) en la recolección de ñames fomentaban la reproducción; las semillas de las frutas se recogían y se plantaban en lugares elegidos para que brotaran grupos de árboles frutales. Viajeros europeos que cruzaron algunas de las zonas más

áridas de Australia central vieron comunidades que recogían panizo silvestre con cuchillos de piedra y lo amontonaban en grandes almiares. En ciertas regiones se han encontrado piedras de moler semillas con una antigüedad de 15 000 años, lo que indica que era una práctica muy antigua^[39].

A finales del Paleolítico y principios del Holoceno se produjeron cambios parecidos en muchas regiones del mundo. En Mesoamérica hay indicios, que se remontan a hace 9000 y 10 000 años, de explotación intensiva de especies que luego serían artículos principales, como variedades primitivas de maíz, judías y calabazas. Algunas comunidades costeras de Mesoamérica disponían de recursos marinos tan abundantes que empezaron a volverse sedentarias hace unos 5000 años^[40]. En la región báltica de Eurasia noroccidental también hay indicios de intensificación inmediatamente posteriores a la última glaciación. Brian Fagan señala:

Las poblaciones mesolíticas que vivían a orillas del recién formado mar Báltico fabricaron una asombrosa variedad de azagayas de pesca, redes, arpones y trampas, muchas de las cuales se han conservado en yacimientos inundados. Las lanzas y las flechas se remataban con lengüetas de piedra, hueso o asta. Para trabajar la madera y preparar los productos vegetales de los bosques se utilizaban herramientas de borde afilado. También había canoas grandes y algunas eran piraguas construidas ahuecando troncos de árbol^[41].

Se trataba de comunidades estables y básicamente sedentarias de recolectores prósperos. Vivían de la caza, la pesca y la recolección de productos vegetales comestibles. Algunos poblados del Báltico eran grandes. Los arqueólogos han encontrado habitaciones fijas para todo el año en las que posiblemente vivieron hasta cien personas. Algunos de estos lugares estuvieron ocupados ininterrumpidamente entre 3000 y 1500 a. C.^[42]

También en la cuenca del Nilo, en el sur de Egipto y Sudán se han encontrado indicios de la presencia de recolectores prósperos. Cerca de Asuán había comunidades hace 18 000 años que cazaban animales grandes, pescaban (lo que probablemente significa que eran relativamente sedentarios) y fabricaban harina molviendo hierbas silvestres; en un yacimiento próximo, fechado en 15 000 a. p., hay hojas de piedra con un brillo que indica que se utilizaban para recoger grano silvestre^[43]. Pero los recolectores prósperos mejor conocidos de esta época son las comunidades natufienses que aparecieron alrededor de 14 000 a. p. en la cuenca del Mediterráneo oriental, en determinadas zonas de lo que actualmente son Israel, Jordania, Líbano y Siria, y permanecieron allí durante más de 2000 años. Los núcleos sedimentarios han puesto de manifiesto que la comunidad natufiense de Ain Mallaha, que floreció hace unos 13 000 años en la parte superior del valle del Jordán, conocía las bellotas y cereales silvestres, y productos lacustres como peces, tortugas, moluscos y aves, que capturaban con redes y garfios^[44]. Las comunidades natufienses también cazaban gacelas. Con tan abundantes recursos a mano, empezaron a instalarse en aldeas que solían ser seis o siete veces mayores que los poblados anteriores de toda la región y en las que llegaba a haber hasta 150 habitantes.

Las comunidades recolectoras de todas estas áreas ensayaban técnicas nuevas a las que no era ajeno un mayor cuidado de los recursos vegetales y animales. Las nuevas técnicas permitían a veces que comunidades enteras se volvieran más o menos sedentarias. Estos cambios representan etapas importantes en la conquista de la agricultura.

Conforme cambiaban las tecnologías humanas, comenzaron a afectar a las especies próximas, sobre todo a las que se explotaban más intensivamente. Por ejemplo, los recolectores podían volver a los campamentos de base con plantas favorecidas, cuyas semillas germinarían y, al cabo de varios años, darían un plantel de productos que consumirían las generaciones posteriores. Estas prácticas pueden generar presiones selectivas muy fuertes, porque es evidente que, con el paso del tiempo, serán probablemente los frutos más sabrosos los que se seleccionen y se planten cerca de los campamentos, mientras que los productos silvestres podrían quedar marginados por resultar menos apetitosos^[45]. Con el paso del tiempo, una manipulación de este calibre aplicada a poblaciones de plantas concretas puede producir cambios genéticos importantes.

Predisposiciones genéticas, productos aclimatables y animales domesticables. Unas especies se prestaban más que otras a la manipulación selectiva. La verdad es que algunos especímenes, contemplados retrospectivamente, parecen haber estado predispuestos a la domesticación. Esta característica es la segunda «condición indispensable» de la agricultura enumerada por Henry. Además, como ha sostenido Vavilov, la distribución de estos especímenes domesticables ofrece una explicación útil de la geografía y el «estilo» de la domesticación en distintas regiones. Entre las muchas especies salvajes que los humanos tuvieron en cuenta, pocas superaron la prueba y en algunos lugares no la superó ninguna. Como es lógico, la disponibilidad o no disponibilidad de plantas y animales nutritivos y fácilmente aclimatables y domesticables pudo ser un factor crucialmente determinante en la geografía de los comienzos de la agricultura y en consecuencia un factor igualmente determinante de gran parte de la historia humana posterior^[46]. Entre cientos de miles de plantas sólo unos centenares se han aclimatado con buenos resultados y casi todas son de importancia secundaria al lado de la decena de especies básicas que integra la mayor parte de la comida que se consume actualmente en el mundo.

Las cualidades buscadas por los humanos en las especies domesticables era la resistencia, el valor nutritivo, la adaptabilidad y la capacidad de reproducirse en condiciones variables. Los animales tenían que ser gregarios; capaces de vivir y reproducirse en manadas grandes y compactas; y tener una tendencia a las jerarquías sociales que los predispusiera a seguir a los jefes, fueran animales o humanos. La naturaleza de las especies disponibles podría explicar asimismo la cronología de las primeras aclimataciones y domesticaciones. Jared Diamond ha argüido de un modo convincente que los candidatos disponibles en el Creciente Fértil fueron

insólitamente variados, atractivos y fáciles de adaptar, y que estos rasgos explican en buena medida por qué fue en esta región donde aparecieron los primeros cultivos. La facilidad de aclimatación de las principales especies de cereales de la región podría demostrarse señalando los pocos cambios que han sufrido desde que eran silvestres; las variedades de cebada y trigo silvestres eran abundantes, nutritivas y fáciles de recolectar y cultivar. La aclimatación del maíz, por el contrario, fue difícil; el teocinte tuvo que pasar muchas pruebas durante milenios, hasta que fue capaz de alimentar a poblaciones numerosas^[47]. La ausencia de animales domesticables tras las extinciones de la megafauna a comienzos del Holoceno retrasaron igualmente la implantación de la agricultura en Mesoamérica. Allí sólo se domesticaron el perro y el pavo, y ninguno era tan valioso como los principales animales domesticados en el Cinturón Fértil. Esta escasez de animales privó a los agricultores americanos de fuerza de tracción, estiércol y una sustancial fuente de proteínas. Las limitaciones nutricionales de las especies locales aclimatadas, como la colocasia, que tiene pocas proteínas, también frenaron el impacto demográfico de la agricultura en Papúa y Nueva Guinea y redujeron su difusión.

La existencia de especies aclimatables/domesticables y una cantidad apreciable de información ecológica pertinente son requisitos básicos para la implantación de la agricultura. Pero estos factores no dan cuenta de la oportunidad ni de la motivación para pasar a la agricultura desarrollada.

Cambio climático, presión demográfica e intercambios. Dado que la agricultura apareció en regiones muy distantes entre sí en el breve curso de unos milenios, es tentador buscar mecanismos globales capaces de haber precipitado cambios en distintos lugares. Dos detonantes podrían ser el cambio climático y la presión demográfica.

Los cambios climáticos al final de la última glaciación fueron irregulares e impredecibles. Sin embargo, su efecto más generalizado fue el aumento de las temperaturas medias. Al margen de cuál fuese su orientación y naturaleza concretas, es posible que estos cambios potenciaran modificaciones culturales y genéticas en todo el mundo. Con la alteración de climas y ambientes, las comunidades humanas se vieron obligadas a experimentar con nuevos alimentos y nuevas técnicas. Esto es innegable en zonas como las estepas euroasiáticas, donde el exceso de capturas y el calentamiento global acabaron expulsando a presas tradicionales como el mamut de las tierras donde habían vivido hasta entonces.

El cambio climático transformó también los ambientes. Las subidas térmicas aumentaron la disponibilidad de plantas y animales comestibles en ciertas regiones. Henry aduce que las plantas aclimatables tal vez fueran escasas antes del final de la última glaciación y señala que, si hubiera hecho más frío, las formas primitivas del arroz, los cereales y el maíz habrían quedado aisladas y limitadas a las tierras bajas. Pero con la multiplicación de los climas cálidos se volvieron más abundantes y

conquistaron las tierras altas. La mayor suavidad del clima imperante allí les permitió criar semillas durante más tiempo y su valor para los humanos aumentó. Un caso que corrobora con firmeza este argumento es el Creciente Fértil, donde se puede rastrear la difusión de los cereales gracias a los estudios del polen. No obstante, es probable que el clima que se impuso a comienzos del Holoceno, más cálido y húmedo, ampliara en muchas regiones del planeta el alcance y la cantidad de plantas necesitadas de calor, como los cereales. La abundancia fue muy notable en regiones con fácil acceso al agua de los ríos, los lagos o los pantanos, mientras que las regiones de ecología variada produjeron una creciente variedad de productos animales y vegetales. En el sureste de Turquía, como demostró un experimento dirigido por Jack Harlan en los años setenta, incluso en las condiciones actuales y durante sólo tres semanas se podía recoger grano silvestre suficiente para alimentar a una familia todo el año. La creciente abundancia de productos vegetales nutritivos pudo a su vez haber atraído a los herbívoros. Al final, estos «jardines del Edén» atrajeron también a los humanos. Es posible que las comunidades recolectoras tendieran a instalarse donde los recursos eran especialmente abundantes y dieran de este modo un paso decisivo hacia la adopción de la agricultura.

El segundo factor global es más difícil de identificar en el registro arqueológico, pero igualmente difícil de excluir de toda historia del origen de la agricultura: la presión demográfica. Que el crecimiento demográfico, lejos de estar limitado por las tecnologías disponibles (el conocido argumento malthusiano), puede fomentar el cambio tecnológico es una tesis desarrollada por Ester Boserup, aunque quien más ha estudiado sus posibilidades para explicar el origen de la agricultura ha sido Mark Cohen. Lo que Cohen dice básicamente es que la presión demográfica impulsaba a los individuos y a los grupos a trasladarse a regiones menos colonizadas. El resultado final fue que la presión demográfica estaba tan equitativamente repartida a comienzos del Holoceno «que los grupos que poblaban el planeta no tuvieron más remedio que adoptar la agricultura en el curso de unos milenios^[48]». Hay varios motivos para creer que la presión demográfica aumentó al final de la última glaciación, sobre todo en la zona afroeuropasiática. La colonización de ambientes inhóspitos como las tundras, la reducción de la caza de animales grandes (muchos de los cuales se extinguieron) y el creciente uso de productos alimenticios más pequeños, como los moluscos y las semillas, son indicios de una ligera presión demográfica. Lo mismo cabe decir del aumento de las habitaciones^[49]. Pero la circunstancia más importante fue, según hemos visto, que a comienzos del Holoceno los humanos habían ocupado ya todos los continentes habitables y, por consiguiente, habían reducido mucho las posibilidades de la extensificación. Dadas las tecnologías recolectoras del Paleolítico, las poblaciones humanas en gran parte del planeta estaban casi al límite de la capacidad demográfica global. Como ha señalado Paul Bairoch: «Según las estimaciones de Hassan, la capacidad demográfica óptima del mundo con una

economía de caza y recolección es de unos 8,6 millones de habitantes (5,6 millones en praderas tropicales y sólo 0,5 millones en praderas de las zonas templadas^[50])».

El cambio climático pudo haber acentuado esta presión en regiones muy concretas, pues conforme aumentaba la temperatura en todo el mundo, subía el nivel del mar. Es indudable que este cambio obligó a los recolectores costeros de zonas como el golfo Pérsico a invadir el territorio de sus vecinos. (Una de las dificultades para demostrar esta hipótesis es que casi todos los lugares pertinentes están en la actualidad bajo el agua). La geografía de las migraciones del Paleolítico pone de manifiesto asimismo la existencia de algunos cuellos de botella donde la densidad demográfica pudo haber sido excepcionalmente elevada. Eran regiones por las que debían pasar las poblaciones que querían trasladarse a otras tierras. La comprendida entre Mesopotamia y el Nilo era sin duda una región así. Hace 80 000 o 90 000 años tenía ya una densidad demográfica muy elevada, desde el punto de vista del Paleolítico. Es probable que Mesoamérica fuese otro cuello de botella, al igual que la estrecha franja habitable del oeste de los Andes. Aplicar este criterio a las cuencas de los ríos Amarillo y Yangtsé es más complicado, pero es posible que la abundancia localizada creara también allí cuellos de botella que obligaran a las comunidades recolectoras a vivir en territorios en reducción continua.

Hay otro factor, estrechamente relacionado con el crecimiento demográfico, que pudo haber fomentado el sedentarismo: el incremento de los intercambios entre las regiones. Están bien documentadas las concentraciones temporales que practicaban las comunidades recolectoras para intercambiar bienes, rituales y cónyuges. Se concentraban donde podían intensificar la producción de comestibles, por lo menos durante unas semanas. He aquí la descripción de una de estas concentraciones, tomada de las memorias de un ganadero británico del siglo XIX, afincado en el estado australiano de Victoria:

En las grandes reuniones periódicas el comercio se basa en el intercambio de artículos propios de zonas muy distantes entre sí. Un lugar preferido para las reuniones dedicadas al trueque es una colina llamada Noorat, situada cerca de Terang. Allí abundan los canguros de los bosques y la piel de los animales jóvenes de aquel lugar se cree que es la mejor para confeccionar alfombras. Los aborígenes del distrito de Geelong llevan las mejores piedras para hacer hachas y una resina de acacia que es famosa por su adherencia. Esta resina de Geelong es muy eficaz para fijar los mangos de las hachas y las puntas de pedernal de las lanzas, y para pegar las juntas de los recipientes de corteza de árbol que se transporta en grandes cantidades por todo el distrito occidental. El basalto para las hachas se obtiene de una cantera de Spring Creek, en las cercanías de Goodwood; y la arenisca para lijarlo se consigue en el río salobre que hay junto al lago Boloke. Cerca de Dunkeld hay cristal volcánico o de obsidiana, para rascar y pulir armas. [...] También se intercambian moluscos marinos [...] y bivalvos de agua dulce^[51].

Andrew Sherratt ha sugerido que el intercambio de bienes valiosos entre las comunidades recolectoras pudo haber fomentado la fundación de campamentos muy poblados, incluso de larga duración, en los ejes de las redes regionales de intercambio. Estos intercambios fueron muy frecuentes a comienzos del Holoceno en el corredor palestino, entre Anatolia y el mar Rojo; es posible que estimularan a las

comunidades que ya aprovechaban el cereal silvestre que crecía en las bien regadas tierras altas a ensayar su cultivo en las tierras bajas por las que pasaban las florecientes rutas de «comercio». Sherratt señala que Jane Jacobs argüía ya en los años sesenta que los poblados grandes como Jericó se fundaron probablemente en puntos donde era más intenso el intercambio; es posible que entonces se utilizaran formas simples de agricultura para alimentar a la población ya instalada y que más tarde se formaran aldeas pequeñas^[52]. Además, es bastante probable que estos mismos intercambios fomentaran el intercambio de técnicas ecológicas imprescindibles para los primeros experimentos agropecuarios.

Por lo tanto, es posible que la influencia combinada de abundancia localizada, ligera presión demográfica e incremento de los intercambios acabara fomentando el sedentarismo en algunas regiones. Ya había habido comunidades sedentarias incluso en el Paleolítico Superior; pero sin domesticación, estos experimentos no produjeron cambios permanentes ni generales en la tecnología ni el estilo de vida. Al final de la última glaciación, sin embargo, la creciente presencia de especies aclimatables y domesticables y quizás un aumento de la presión demográfica consiguieron que los experimentos fueran más frecuentes, más importantes y más duraderos. Las culturas natufienses de Oriente Medio ejemplifican bien estos procesos.

Crecimiento demográfico, intensificación y especialización. Aunque el sedentarismo no es la agricultura, sin duda fue un paso tan espontáneo como fundamental para llegar a ella. La población natufiense creció con rapidez, las aldeas se multiplicaron y desde 14 000 a. p. proliferaron por todo Oriente Medio. La causa del crecimiento demográfico fue probablemente el sedentarismo, aunque en algunas regiones ocurrió al revés. Como se ha visto en el capítulo anterior, las ambulantes comunidades de recolectores tenían buenos motivos para limitar el crecimiento demográfico. Pero cuando se instalaban, los límites se volvían más elásticos. Ya no había necesidad de cargar tanto con los niños pequeños; las dietas con mucho grano (sobre todo si la comida se cocía) permitían destetar antes a los niños; los intervalos entre los embarazos se acortaron; y las mujeres llegaban antes a la pubertad. Estos factores aceleraron sin duda el crecimiento demográfico en las comunidades con menos movilidad.

El sedentarismo tenía además a transformar la tecnología de los recolectores sedentarios y la genética de las plantas y los animales de que se alimentaban. La creciente dependencia de una pequeña cantidad de fuentes alimenticias abundantes y fácilmente recolectables redujo el saber propio de la vida nómada, durante la que lo normal era conocer una gran variedad de especies y de técnicas. Fue la «descapacitación» propia del Neolítico. Ahora bien, es probable que este mismo proceso potenciara el conocimiento concreto de las especies favorecidas. Es seguro que las comunidades sedentarias aprendieron muchas más cosas sobre los ciclos vitales, las enfermedades y las pautas de crecimiento de la pequeña cantidad de

especies más próximas al poblado. Este saber se sumó al considerable conocimiento que los recolectores ya tenían sobre los ciclos vitales de sus presas y sobre la mejor forma de protegerlas y multiplicarlas con eficacia. El cuidado de estas especies produjo probablemente cambios genéticos que propiciaron la aclimatación, dado que se descartaban los especímenes que peor respondían. Por último, la limpieza de la tierra para la construcción de habitaciones permanentes creó las condiciones idóneas para que prosperaran las especies resistentes, sobre todo si los humanos las utilizaban con regularidad suficiente para que las semillas se acumularan alrededor del poblado.

Con el paso del tiempo, las comunidades sedentarias de recolectores se dieron cuenta de que la población aumentaba, de que ampliaban sus conocimientos sobre las especies concretas que comían y de que estas mismas especies sufrían cambios que las volvían más útiles.

La trampa del sedentarismo. Conforme crecía la población de las comunidades sedentarias y aumentaba su dependencia de una decreciente variedad de especies, así como su capacidad para incrementar la productividad de las mismas, se redujeron las posibilidades y los atractivos de volver a la vida nómada. Es una conducta que podemos denominar trampa del sedentarismo. Es posible que al cabo de unas cuantas generaciones los recolectores sedentarios se dieran cuenta de que cultivaban una forma de vida sedentaria mientras olvidaban las habilidades tradicionales y mientras el crecimiento demográfico reducía el área del territorio disponible para cada comunidad. Tal como habría podido prever un Malthus del Neolítico, el crecimiento demográfico estaba irremediablemente condenado a desbordar la capacidad de los abundantes recursos naturales que habían fomentado la adopción del sedentarismo. También es posible que los períodos de empeoramiento climático local redujeran la disponibilidad natural de los productos comestibles. En cualquiera de los dos casos, las comunidades, al cabo de unas cuantas generaciones, alcanzaban el límite ecológico de la explotación de las regiones cuyos recursos habían parecido tan abundantes en los tiempos de la fundación del poblado. Llegadas a este punto, y si la opción de volver al nomadismo ya no era viable (por estar superpobladas las regiones limítrofes) o había dejado de ser atractiva (porque el sedentarismo se consideraba el modo de vida normal), las comunidades no tenían más remedio que aumentar la intensificación, esforzándose más para incrementar la productividad de unas cuantas especies favorecidas.

Esta decisión representó el último paso hacia la agricultura desarrollada. Donde se ven con más claridad estos procesos es en los testimonios encontrados en Mesopotamia. Las comunidades natufienses sufrieron el empeoramiento del clima que se produjo entre 13 000 y 11 500 a. p. Hay indicios de deficiencias nutricionales, de extensión de la práctica de matar a las niñas, de crecientes diferencias de jerarquía, fenómenos que podrían deberse a una crisis de los recursos^[53]. Algunas comunidades del Creciente Fértil, sobre todo las de las regiones más áridas, reaccionaron volviendo

a formas de vida más móviles. Pero otras que vivían en regiones con abundancia de agua y cereal silvestre empezaron a intensificar la producción de productos comestibles concretos, por ejemplo los cereales. El paso definitivo fue plantar semillas en un suelo donde no crecían otras plantas. Las comparaciones con las sociedades recolectoras modernas y con las sociedades hortícolas, en las que las mujeres hacen casi todo el trabajo agrícola, sugiere que tal vez fueron las mujeres las primeras en ensayar estas técnicas, mientras los hombres se dedicaban a la caza y a otras actividades que se desarrollaban fuera del poblado^[54]. Es posible que, al principio, el cultivo deliberado fuera sólo una medida preventiva para contrarrestar los efectos del empeoramiento de las condiciones, porque los índices demográficos de la población natufiense bajaron bruscamente a partir de 13 000 a. p. Sin embargo, funcionó, porque pronto aparecieron comunidades que dependían de manera progresiva de plantas aclimatadas y luego de animales domesticados. Muchas comunidades siguieron tratando la domesticación como un complemento limitado de la recolección tradicional, pero algunas no. Para éstas fue la base de una forma de vida completamente distinta.

Las primeras aldeas realmente agrícolas aparecieron en el suroeste asiático alrededor de 10 500 a. p. Abu Hureyra, una aldea próxima a la frontera entre lo que actualmente son Turquía y Siria, ejemplifica la rapidez que podía alcanzar la transición^[55]. En 10 500 a. p. se fundó allí una aldea; sus habitáculos semisubterráneos se construían con techos de caña y postes de madera. Sus habitantes consumían grano silvestre, pero también cazaban gacelas. Las gacelas llegaban con regularidad en primavera, se mataban en grandes cantidades y su carne se almacenaba. Pero estas comunidades almacenaban carne y grano. Es posible que plantaran grano deliberadamente y que tuvieran corrales para presas salvajes como las gacelas. Después de 10 500 a. p. la agricultura y el pastoreo evolucionaron rápidamente durante unos siglos. La población de la aldea aumentó a 300 o 400 habitantes. Hacia 9700 a. p. se fundó otra aldea que abarcaba un área mayor; sus habitantes seguían dependiendo de las gacelas. Pero hacia 9000 a. p. se produjo una rápida transición que duró sólo alrededor de cien años; sus habitantes se volvieron agricultores, cultivaban cereales y legumbres y tenían rebaños de tamaño respetable de ovejas y cabras domesticadas. Construían casas de adobe, sencillas y rectangulares, con patios y senderos estrechos^[56]. Por entonces habían aparecido ya aldeas parecidas en otros puntos del Creciente Fértil (véase el mapa 8.3).

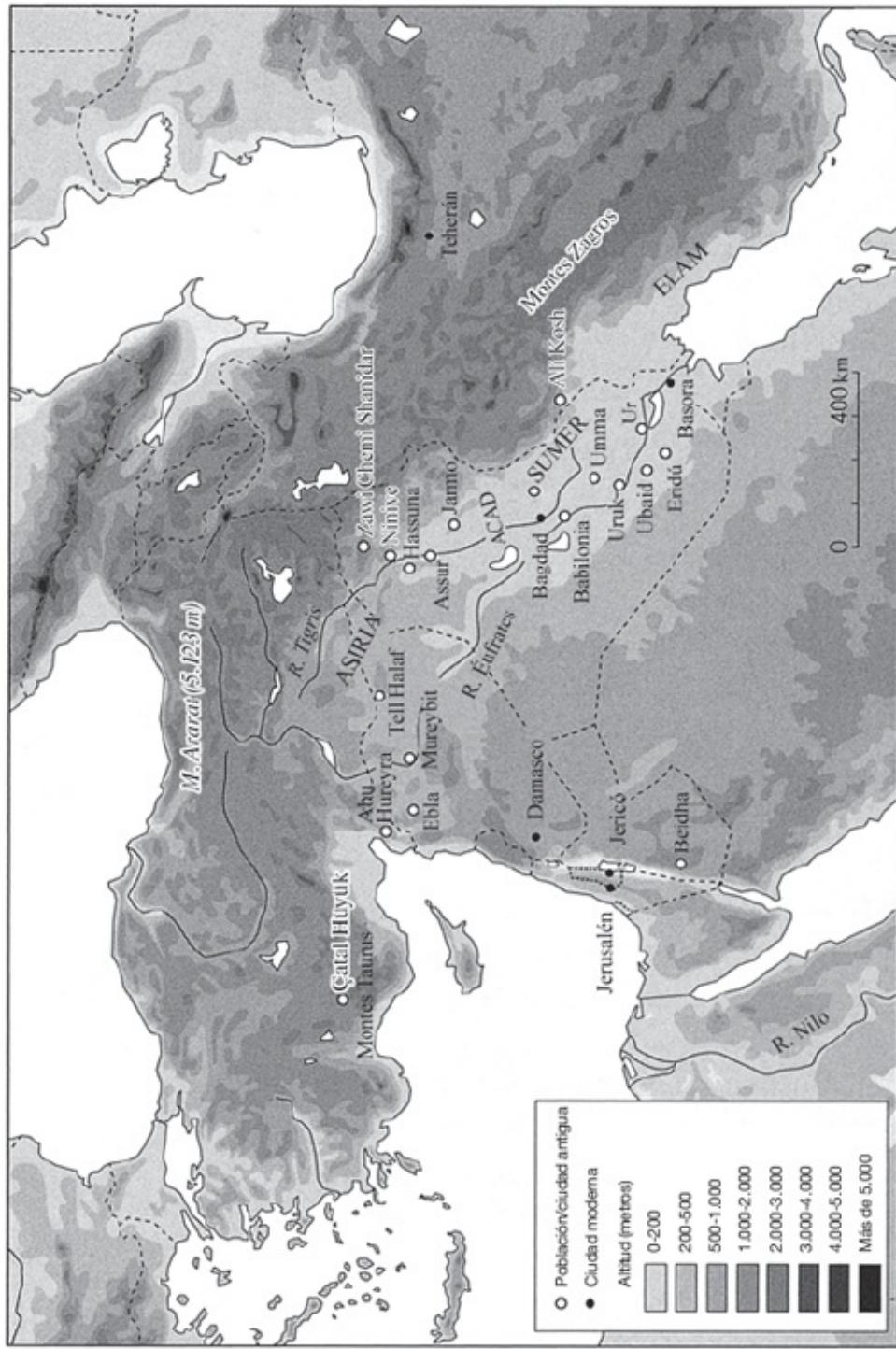
¿Una explicación general del origen de la agricultura?

Esta secuencia (predisposición o adaptación previa; progresivo sedentarismo estimulado por los cambios climáticos, la presión demográfica y el intercambio creciente; luego intensificación y más crecimiento demográfico; y finalmente

dedicación plena a la agricultura) aparece perfectamente trazada en el Creciente Fértil. Pero ¿es aplicable a otras regiones con agricultura incipiente?

Antes se pensaba que en América la aclimatación fue anterior al sedentarismo. Es posible que fuera así, en el sentido de que hubo comunidades nómadas o seminómadas que probablemente desempeñaron un papel fundamental en las primeras etapas de la aclimatación de productos como el maíz. Pero las recientes revisiones de la cronología de la aclimatación americana indican que también allí pudo haber sido crucial el sedentarismo para la aparición de modalidades de agricultura capaces de producir transformaciones más decisivas. Los datos sobre China son insuficientes para proponer conclusiones en firme, pero nada desmiente que también allí se diera la secuencia señalada, y lo mismo cabe decir de los primeros indicios de agricultura en el África subsahariana^[57]. Bruce Smith, responsable de la mejor revisión reciente del problema, ha aducido que,

en muchas regiones del mundo, los experimentos tendentes a la aclimatación de plantas semilleras y luego a la agricultura se llevaron a cabo en condiciones parecidas. Los experimentadores eran sociedades cazadoras-recolectoras que se habían instalado junto a lagos, pantanos o ríos, en terrenos tan abundantes en recursos silvestres que las sociedades en cuestión podían fundar poblados permanentes y vivir en gran medida de las comunidades vegetales y animales locales. Así pues, parece que la vida sedentaria, sostenida por los abundantes recursos de una zona con mucha agua, fue un elemento importante para los primeros ensayos de aclimatación^[58].



MAPA 8.3. La antigua Mesopotamia.

PRIMERAS FORMAS DE VIDA AGRÍCOLA

¿Cómo vivían los miembros de las primeras comunidades agrícolas? Para responder tenemos que interrumpir la estricta cronología de este capítulo, porque las sociedades de principios de la era agraria rebasaron el período comprendido entre 11 500 y 4000 a. p. En algunas regiones, como las montañas de Papúa y Nueva Guinea, sobrevivieron hasta bien entrado el siglo xx; y en muchas zonas, por ejemplo

en gran parte de América, hubo comunidades semisedentarias hasta hace un par de siglos^[59]. Pero la pregunta reviste gran interés, porque las comunidades de agricultores independientes han estado tan extendidas y han durado tanto tiempo que su estilo de vida y su historia representa un capítulo importante aunque olvidado de la historia humana.

Tecnologías: horticultura, no agricultura

Las tecnologías de comienzos de la era agraria diferían de las que solemos asociar en la actualidad con la agricultura. Por este motivo es habitual hablar de *horticultura* para referirse a ellas. En general, eran tecnologías menos productivas que las posteriores, y éste podría ser un motivo de que la salud de las primeras comunidades agrícolas estuviera más deteriorada que en la mayoría de las comunidades recolectoras. Los antropólogos modernos entienden por horticultura las tecnologías de cultivo que no emplean arado ni animales de tiro. La principal herramienta agrícola, en estas sociedades, es poco más que una azada o palo de escarbar que se utiliza para plantar semillas y eliminar las hierbas que podrían competir por los nutrientes del suelo.

Las sociedades hortícolas han sobrevivido hasta nuestros días en muchas regiones del mundo. Es posible que ciertas regiones y ciertos cultivos se adapten mejor a estas tecnologías que a las formas modernas de siembra con arado, pero la horticultura es por lo general menos productiva. Los palos no pueden arar los suelos de superficie dura, por lo que la horticultura sólo se puede practicar en zonas con suelo fértil y blando, como el loes. Además, los horticultores suelen trabajar sin el fertilizante que aportan los animales domesticados. Estas limitaciones explican en parte que no cuajaran las primeras formas de agricultura en muchas regiones que luego, en la fase tardía de la era agraria, se cultivaron intensivamente. En zonas como la moderna Ucrania, los primeros horticultores trabajaban en terrazas fluviales con suelo de loes y dejaban a los recolectores nómadas las tierras altas situadas entre los ríos. Casi todos los horticultores primitivos siguieron cazando y recolectando. En realidad, la caza, la recolección y la pesca han seguido siendo aspectos importantes de la vida hortícola y agrícola hasta los tiempos modernos.

Comunidades aldeanas

Las comunidades de los comienzos de la era agraria eran aldeas de agricultores independientes. Cada aldea era una sociedad casi suficiente. Por encima de ellas no había autoridades superiores, ni estados ni jefes regionales, aunque las redes de

intercambio (que a veces eran muy extensas) ejercían una influencia impersonal en casi todas.

A semejanza de las aldeas de las montañas de Papúa y Nueva Guinea de principios del siglo xx, las primeras aldeas de la era agraria diferían mucho en tamaño y podían tener desde veinte o cuarenta casas hasta varios millares. Es posible que algunas nos parecieran pueblos. Da la impresión de que los poblados permanentes propiciaban una arquitectura distinta de la de los poblados temporales de comunidades más móviles. Mientras que las comunidades nómadas tienden a vivir en abrigos o chozas circulares, los edificios de las aldeas se construyen para que duren y, por lo tanto, suelen ser cuadrados o rectangulares. (Sin embargo, en el norte de China había casas redondas bien construidas que duraron mucho tiempo. Aún se pueden ver sus restos en la aldea de Pan-po, en las afueras de Sian). Los habitáculos más permanentes exigían una definición de las relaciones familiares, porque planteaban crudamente la cuestión de quién vivía con quién. Por el tamaño y diseño de las viviendas se intuye que en estas aldeas pudo haberse definido con más precisión la familia nuclear. También es posible que apareciese una idea más clara de lo que era la propiedad, tanto de la vivienda como del conjunto de la aldea (véase figura 8.5). Cuando a finales de la era agraria temprana aparecen murallas defensivas en algunas regiones, sabemos que los aldeanos tienen ya un fuerte sentido de la propiedad familiar y aldeana.

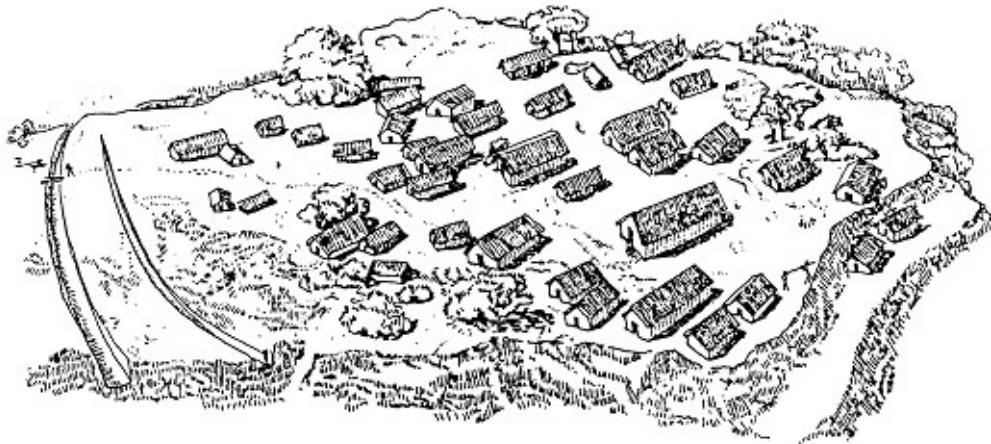


FIGURA 8.5. Primeras aldeas agrícolas en Ucrania. Reconstrucción de Kolomishchina en el IV milenio a. C. Tomado de Marija Gimbutas, *The Civilization of the Goddess: the World of Old Europe*, edición de Joan Marler, Harper and Row, San Francisco, 1991, p. 106.

Los pobladores de las aldeas de este período eran más numerosos que las familias y grupos propios de la Edad de Piedra Antigua. El parentesco siguió siendo, sin duda, el principio rector que organizaba estas comunidades, hasta la aparición de las jefaturas a gran escala y los estados. Sin embargo, es probable que la idea de parentesco cambiara para adaptarse a las características de las comunidades de las aldeas agrícolas, que eran mayores y más permanentes y tenían más cohesión. Las familias nucleares tuvieron que definir mejor las relaciones entre ellas y con el

conjunto de la aldea, lo cual repercutió en la creación de conceptos de parentesco más complejos que los investigadores actuales de las sociedades aldeanas conocen bien. Por este motivo no es descabellado suponer que las principales estructuras sociales de la era agraria temprana se parecían a lo que Elman Service entiende por «tribu», grupo que no hay que confundir con la «horda», que no solía constar de más de cincuenta individuos o incluso menos^[60]. Como las tribus suelen constar de centenares de individuos, necesitan formas más complejas de categorizar las relaciones entre los individuos y las casas. Por lo general se conseguía cierta unidad dando por sentado que todos descendían del mismo antepasado.

¿Jerarquías o igualdad?

Aunque en casi todas las comunidades recolectoras nómadas se puede clasificar fácilmente a sus miembros por edad y sexo y en ellas puede haber jerarquías personales, en casi todos los demás aspectos tienen que ser igualitarias. En la medida en que son nómadas, no pueden producir excedentes generadores de distinciones significativas en cuanto a riqueza. La agricultura exigió el almacenamiento periódico de excedentes y alimentó a comunidades mucho mayores. Por esta dinámica creó las condiciones necesarias para que hubiera concentración de riqueza y formas desconocidas de desigualdad. En realidad, hay indicios de que empezó a haber desigualdades en cuanto los recolectores se volvieron más sedentarios. Es posible que las comunidades natufienses primitivas estuvieran compuestas únicamente por pequeños grupos de familias emparentadas. Pero según fueron creciendo en tamaño aparecieron relaciones más complejas, porque la administración de las actividades de la aldea y la solución de los conflictos internos adquirió también mayor complejidad. El principal problema que tienen ante sí las comunidades sedentarias es que los individuos ya no pueden resolver tan fácilmente los conflictos trasladándose a otro lugar o integrándose en otros grupos. La agricultura ata a un territorio concreto a los individuos y a los grupos con mucha más firmeza y a veces les obliga a obrar colectivamente. Por este y otros motivos, las comunidades grandes no tienen más remedio que nombrar jefes. Y el nombramiento de jefes presupone alguna forma de jerarquía. Los arqueólogos han detectado diferencias incluso en tumbas natufienses entre una minoría de individuos, presumiblemente de posición social alta, enterrados con objetos de adorno y una mayoría enterrada con menos espectacularidad. Que incluso los niños se entierren a veces con pompa sugiere que la categoría podía heredarse, de modo que es posible que hubiera un sistema de linajes superiores.

Estos factores de presión u otros parecidos se daban en todas las aldeas agrícolas primitivas. Sin embargo, al principio hubo un límite para las desigualdades. Las comunidades siguieron siendo igualitarias sobre todo en las regiones donde la agricultura era reciente y se competía poco por los recursos. Durante las primeras

etapas de la cultura ucraniana de Tripolye, por ejemplo, las casas suelen variar poco en tamaño y los objetos que contienen no indican que hubiese importantes diferencias en cuestión de riquezas. Esta clase de indicios impulsó a Marija Gimbutas, arqueóloga estadounidense de origen lituano, a sostener que toda la era agraria temprana fue un período de igualdad relativa entre los hombres y las mujeres y entre las familias^[61]. Probablemente hubo una clara división sexual del trabajo. Tener hijos era fundamental para la supervivencia de las unidades familiares en casi todas las comunidades agrícolas; y en un mundo con una elevada tasa de mortalidad infantil pero sin biberón ni métodos anticonceptivos, esto significaba que la vida de las mujeres estaba determinada por el alumbramiento y la crianza de los hijos. Sin embargo, no hay razón para creer que estas diferencias de roles supusieran por fuerza la existencia de formas sistemáticas de desigualdad de género.

Relaciones con otras sociedades

Como hemos visto, las primeras comunidades agrícolas coexistieron con las recolectoras. Además, comerciaban con otras comunidades agrícolas. Así pues, las grandes redes de intercambio de comienzos del Neolítico vinculaban a comunidades que vivían de manera muy diferente. Los testimonios más claros de la existencia de amplios sistemas de intercambio proceden de Oriente Medio, sobre todo de Anatolia, donde se comerciaba con obsidiana, un cristal volcánico utilizado para fabricar hojas afiladas, en el primitivo poblado de Çatal Hüyük.

No hay duda de que entre los contactos había también conflictos y agresiones, y es posible que las primeras sociedades agrarias libraran batallas semirrituales de diversas clases en las que a veces se producían bajas (como se producen en los modernos enfrentamientos rituales que llamamos «deportes»). Pero es improbable que estos conflictos tuvieran organización o regularidad suficientes para pensar que se trataba de guerras. Las primeras comunidades agrícolas suelen tener pocas armas. Carecen de fortificaciones. Las famosas murallas de Jericó, la ciudad agrícola más antigua que se conoce, parece que no eran fortificaciones, sino diques para contener las inundaciones.

CONSECUENCIAS DE LA AGRICULTURA

Con la aparición de la agricultura se produjo un cambio fundamental en las relaciones entre los humanos y la naturaleza. La actividad humana influía en otros organismos ya en la época paleolítica. Pero cuando los humanos se dedicaron a la agricultura, reformaron también el medio inorgánico —los suelos, los ríos, los paisajes— y crearon entornos nuevos adaptados a la medida exacta de sus

necesidades^[62]. La agricultura es una forma de alterar los procesos naturales para beneficio de los humanos, lo cual equivale a interferir en los ciclos ecológicos naturales. Al eliminar especies indeseadas (arrancando las malas hierbas), los agricultores crean deliberadamente paisajes artificiales en los que se obstaculizan los procesos reproductores que posibilitarían el regreso de la tierra a su estado primitivo. La tierra se limpia deliberadamente de multitud de especies y en consecuencia se mantiene por debajo de su nivel natural de productividad. En cambio, aumenta la productividad de las especies favorecidas por los humanos, porque tienen más acceso a los nutrientes, al agua y a la luz del Sol. Pero al reducirse el manto vegetal aumenta el nivel de la erosión, porque las plantas compactan el suelo con las raíces, crean el humus que lo aglutina y reducen el tamaño y la energía cinética de las gotas de lluvia que llegan a la tierra^[63]. Y la erosión, más el cultivo intensivo de una pequeña cantidad de productos, puede acelerar los ciclos nutrientes y obligar a los humanos a mantener artificialmente la fertilidad del suelo, con estiércol, con cenizas, con rotación de cultivos o dejando la tierra en barbecho para que se recupere. Los humanos siguieron reformando además los organismos que les rodeaban, no sólo sometiendo a ingeniería genética a las plantas aclimatadas y a los animales domesticados, sino persiguiendo a las especies (por ejemplo a los lobos) que les creaban problemas a ellos o a sus animales.

Conforme reformaban ambientes para aprovecharlos mejor, es posible que los humanos tuvieran la creciente impresión de que el mundo «natural» y el «humano» se estaban separando. La sensación de unidad entre los humanos y su entorno, que todavía es patente en las comunidades recolectoras de nuestra época, se redujo seguramente en las comunidades agrícolas. Es probable que fuera sustituida por una sensación de extrañamiento, por la impresión de que el mundo natural era, en el mejor de los casos, indiferente a los humanos, y en el peor decididamente hostil.

Sin embargo, estos cambios afectaron sólo a pequeñas partes del mundo a comienzos del Holoceno y las primeras tecnologías agrícolas tuvieron un efecto limitado en el medio natural^[64]. El impacto humano en el mundo natural sólo se volvió significativo cuando las técnicas agrícolas se difundieron.

RESUMEN

El final de la última glaciación representa un punto de inflexión fundamental en la historia humana. Con la aparición de la agricultura, las sociedades humanas empezaron a adquirir el dinamismo demográfico y tecnológico que ha impulsado el cambio histórico de los últimos milenios. La agricultura apareció en diversas regiones del planeta durante los primeros milenios que siguieron a la última glaciación. No es fácil explicar por qué los recolectores adoptaron la agricultura, pero las principales etapas del proceso parecen estar claras. Casi todas las habilidades que hacían falta

estaban ya presentes en las sociedades recolectoras. Lo mismo cabe decir de una serie de plantas y animales predisuestos a la domesticación. Los cambios climáticos propiciaron el ensayo de nuevas tecnologías y se crearon regiones de abundancia que fomentaron el sedentarismo, aunque éste, a su vez, fomentó el crecimiento de la población local. Al final, conforme proseguía el crecimiento demográfico, las comunidades sedentarias sólo tuvieron dos opciones: volver a una vida más nómada y tradicional o aumentar la intensificación. Los que optaron por la segunda solución crearon las primeras sociedades realmente agrícolas.

Sin embargo, los beneficios de las primeras tecnologías agrícolas no fueron tan grandes como para que se difundieran rápidamente o de manera automática. Por el contrario, las primeras comunidades agrícolas crecieron con lentitud, conforme los emigrantes colonizaban terrenos aptos para la horticultura de entonces. Las comunidades agrícolas coexistieron durante milenios con los grupos de recolectores. El crecimiento demográfico lento (en comparación con las tasa actuales), la limitación de los conflictos y la limitación del impacto ecológico fueron las principales características de casi toda la primera fase de la era agraria. Fue un período relativamente pacífico en el que pequeñas comunidades aldeanas vivían entre comunidades que seguían viviendo de la caza y la recolección, como en el Paleolítico Superior. Los historiadores suelen olvidar esta etapa de la historia humana, por eso conviene recordar que duró tanto como la era siguiente, que se caracterizó por la aparición de las ciudades, los estados y los imperios.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Dos buenos y recientes repasos de la extensa bibliografía dedicada al origen de la agricultura son *The Emergence of Agriculture* (1995) de Bruce Smith y «Agricultural Origins in Global Perspective» (2001) de John Mears. Mark Cohen, *La crisis alimentaria de la prehistoria* (1977), destaca la importancia de la presión demográfica en la aparición de la agricultura; David Rindos, *Los orígenes de la agricultura* (1984), describe la aparición de la agricultura como un proceso simbiótico básicamente inconsciente. En *Armas, gérmenes y acero* (1998), Jared Diamond piensa que la distribución de las especies aclimatables/domesticables es la clave que explica la cronología y la geografía de la agricultura temprana. *From Foraging to Agriculture* (1989) de Donald Henry describe detalladamente las culturas natufienses y su papel en la primera agricultura mesopotámica, mientras que *The Origins of Agriculture and Settled Life* (1992) de Richard MacNeish es un repaso pormenorizado de la aparición de la agricultura en América. Hay descripciones generales de las formas de vida en este período en Göran Burenhult, ed., *The Illustrated History of Mankind* (5 vols., 1993-1994), y en Robert Wenke, *Patterns in Prehistory* (1990³); *The Civilization of the Goddess* (1991) de Marija Gimbutas

presenta una versión polémica de la vida agrícola primitiva y de las relaciones entre los sexos, algunas de cuyas consecuencias pueden verse resumidas en Margaret Ehrenberg, *Women in Prehistory* (1989). *The Holocene* (1998) de Neil Roberts, *Historia verde del mundo* (1992) de Clive Ponting y *Changing the Face of the Earth* (1996) de I. G. Simmons analizan algunas consecuencias ecológicas de las primeras formas de agricultura. Andrew Sherratt, en «Reviving the Grand Narrative» (1995), subraya la importancia de las redes de intercambio en el origen de la agricultura y en la evolución histórica en general. *Prehistory of Australia* (1999) de John Mulvaney y Johan Kamminga y *Archaeology of the Dreamtime* (1983) de Josephine Flood son introducciones autorizadas a la historia de Australia a principios del Holoceno.

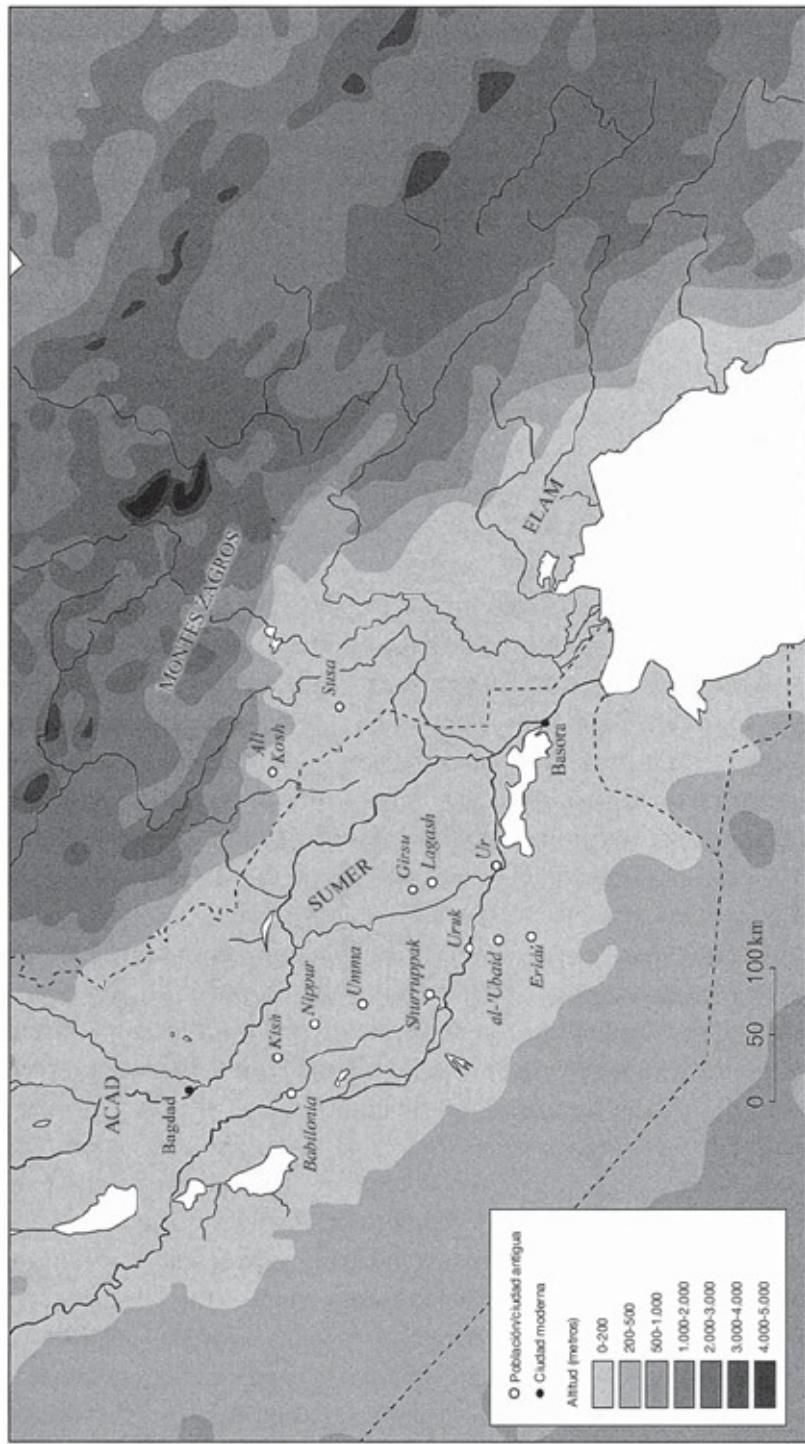
Capítulo 9

DEL DOMINIO SOBRE LA NATURALEZA AL DOMINIO SOBRE LAS PERSONAS: CIUDADES, ESTADOS Y «CIVILIZACIONES»

COMPLEJIDAD SOCIAL

En el universo primitivo, la gravedad se apoderó de los átomos y con ellos esculpió estrellas y galaxias. En la era descrita en este capítulo veremos que una especie de gravedad social esculpió ciudades y estados con comunidades dispersas de agricultores. Conforme las poblaciones agrícolas se agrupaban en comunidades mayores y más densas, aumentaron las interacciones entre los grupos y creció la presión social hasta que, por un proceso asombrosamente parecido al de la formación de las estrellas, aparecieron estructuras nuevas y un nuevo nivel de complejidad. Al igual que las estrellas, las ciudades y los estados reorganizaron y energizaron los objetos menores dentro de su campo gravitatorio.

Las comunidades resultantes de estos cambios, urbanizadas, con organización estatal y a menudo en guerra, son el tema principal de la historiografía moderna. Los historiadores han olvidado con demasiada facilidad qué diferentes de estas comunidades eran las sociedades pequeñas y relativamente igualitarias del Paleolítico y de la primera fase agrícola. La verdad es que, desde la perspectiva de la cronología, casi toda la historia humana ha transcurrido en comunidades que no sabían absolutamente nada del poder estatal. En las aldeas de los comienzos de la era agraria, las relaciones fundamentales de la gran mayoría eran casi siempre personales, locales e igualitarias. Casi todas las familias eran autosuficientes y las personas se trataban como personas, no como representantes de instituciones.



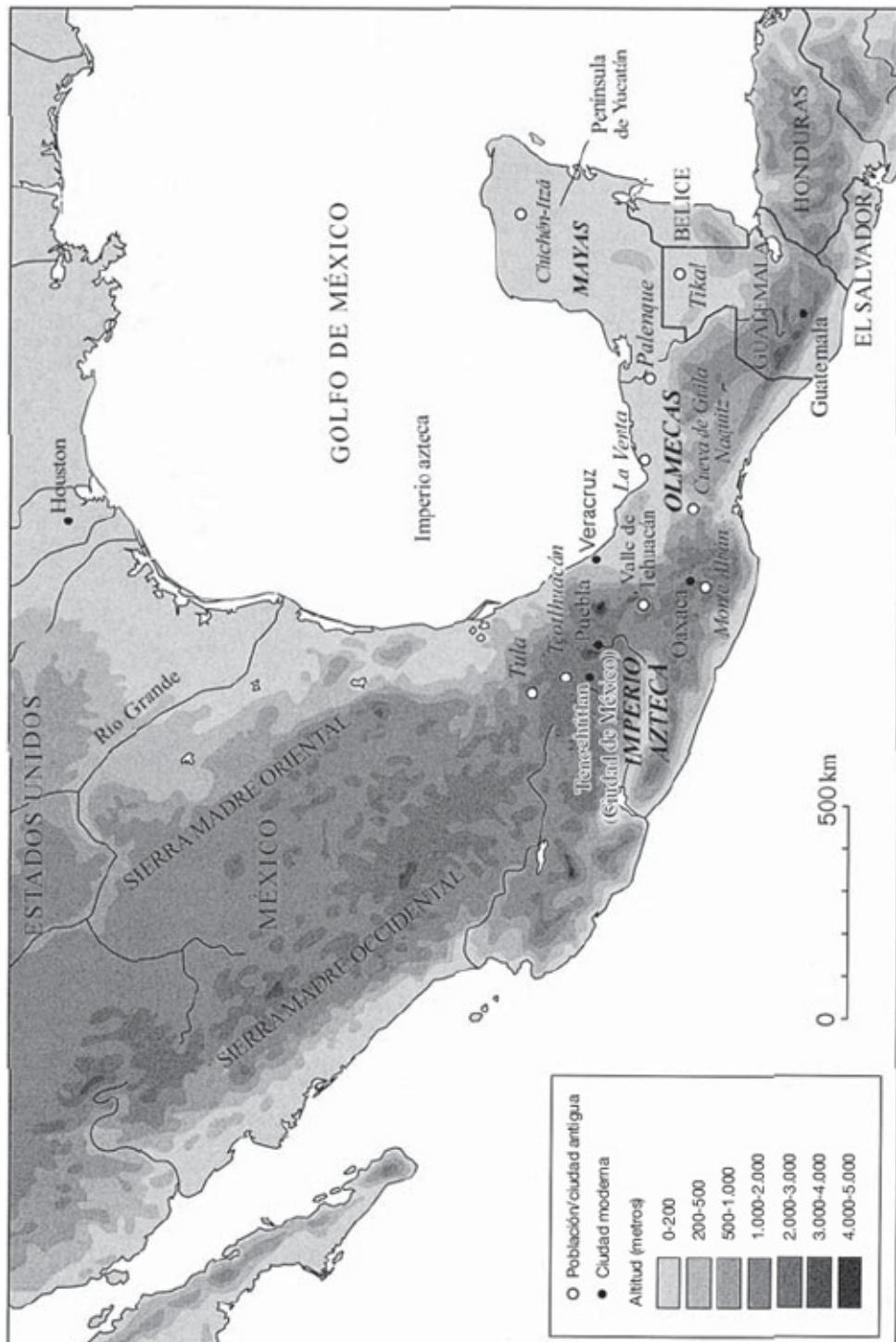
MAPA 9.1. La antigua Sumer.

Entonces aparecieron los primeros estados, hace 5000 años aproximadamente. Ya en 3200 a. C. había pequeñas ciudades-estado en el sur de Mesopotamia (véase el mapa 9.1). En 3100 a. C. se formó un estado en Egipto: un funcionario regional llamado Menes o Nemer unificó el norte y el sur en un solo reino y fundó la primera dinastía egipcia. También se formaron estados en regiones con densidad demográfica creciente: en el norte de la India y China hacia 2000 a. C. y en Mesoamérica hacia 1000 a. C. (véase el mapa 9.2). La aparición de los estados representa una transición fundamental de las relaciones personales al poder impersonal y del dominio sobre las cosas al dominio sobre las personas^[1]. El mundo de las jerarquías, el poder y los

estados es el que conocemos actualmente. Un mundo donde la riqueza y el poder de los individuos y las comunidades pueden variar muchísimo, según sea la genealogía, el género y el grupo étnico al que pertenecen. Marvin Harris califica el cambio de fin de la igualdad.

Entonces aparecieron en la Tierra los reyes, los dictadores, los sumos sacerdotes, los emperadores, los jefes de gobierno, los presidentes, los gobernadores, los alcaldes, los generales, los almirantes, los jefes de policía, los jueces, los abogados y los carceleros, así como las mazmorras, las cárceles, las penitenciarías y los campos de concentración. Bajo la tutela del estado, los seres humanos aprendieron a hacer reverencias, a humillarse, a arrodillarse, a rendir pleitesía. En muchos aspectos, el ascenso del estado fue el descenso de la libertad a la esclavitud^[2].

Los estados solían estar insertos en regiones mayores que contenían otros estados con sus tierras anexionadas. Llamaré a estas regiones *civilizaciones agrarias*. El término *civilización* se suele entender como sinónimo de progreso, pero aquí lo utilizamos en otro sentido. Aunque hay diferencias claras entre las civilizaciones agrarias y otras clases de comunidades humanas, aquí no se juzga el valor intrínseco de ninguna sociedad. Por civilizaciones agrarias entiendo las sociedades en sentido amplio que se basan en la agricultura, con estados y todo lo que esto supone (alfabetización, guerras, etc.). Podría parecer que la expresión *civilización agraria* contiene términos contradictorios, porque asociamos la civilización (que se deriva de *civis*, «ciudadano» en latín) con los estados y sobre todo con sus ciudades. Pero el adjetivo *agrario* nos recuerda que todas las ciudades premodernas dependían de los campos que rodeaban la urbe o las aldeas que estaban bajo su órbita.



MAPA 9.2. La antigua Mesoamérica.

Tal vez nos sea útil enfocar la aparición de las ciudades y los estados como enfocamos la aparición de los organismos policelulares, como un proceso que articuló en unidades mayores entidades independientes hasta entonces. En la figura 9.1 tenemos un esquema de las principales etapas del proceso (véase también la tabla 9.1)^[3]. La transición que se analiza en este capítulo se puede ver como el paso del nivel 4 al nivel 5, aunque las civilizaciones agrarias en general se organizan normalmente en los niveles 5 y 6.

¿Cómo explicaríamos esta transición fundamental? La creciente densidad de población de las regiones agrícolas proporcionó las materias primas demográficas y

físicas con que se construyeron las primeras ciudades y los primeros estados, y la progresiva aglomeración aportó buenos motivos para la creación de estructuras estatales^[4]. Pero ¿cómo se unieron las comunidades locales? ¿Por voluntad propia o porque no tuvieron más remedio? Probablemente por ambas cosas.

Las teorías «verticalistas» acentúan la importancia de la coerción, ya que entienden los estados como instituciones impuestas a las mayorías por minorías privilegiadas y poderosas. Este enfoque es habitual en las teorías marxistas del estado, que lo considera ante todo como un mecanismo de explotación. Aunque algunos individuos (sobre todo agricultores) siguieron extrayendo recursos del mundo natural, como sus antepasados, ahora había un estrato nuevo, un estrato de dirigentes que empezó a extraer recursos de los propios humanos manipulando vastas redes de influencia, riqueza y poder. La sociedad humana pasó a ser el «nicho» en el que estas minorías privilegiadas buscaban los recursos que necesitaban. La sociedad se estratificó: debajo estaba la base, el nivel de los que explotaban la naturaleza (los productores primarios), y encima las capas de los que explotaban a los explotadores de la naturaleza. Estos cambios crearon una nueva «cadena alimentaria» en la sociedad humana y la creciente división de intereses entre los privilegiados y los explotados explica sin duda hasta cierto punto la aparición de estructuras sociales complejas.

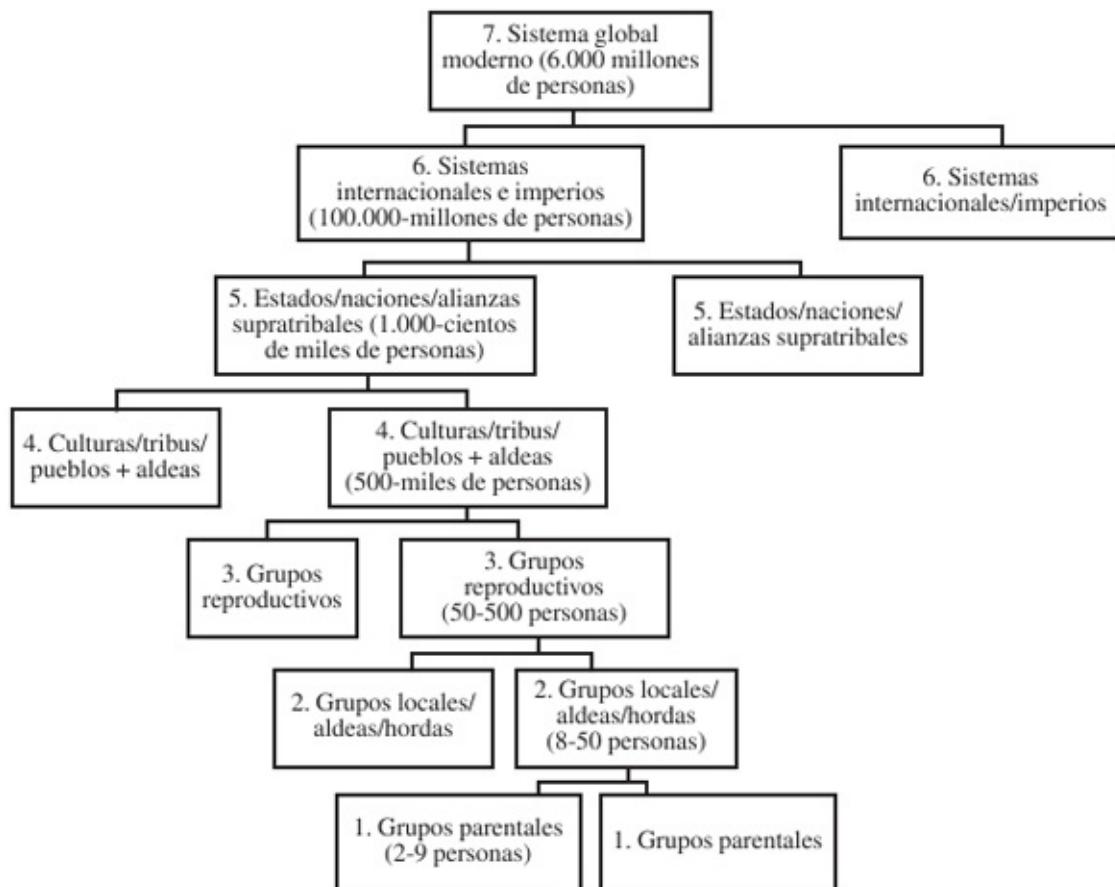


FIGURA 9.1. Escalas de la organización social. Esquema muy simplificado de las diferencias más significativas en la escala de la organización social humana.

TABLA 9.1. ESCALAS DE ORGANIZACIÓN SOCIAL.

<i>Nivel</i>	<i>Escala y tipo de estructura social</i>	<i>Tamaño (población)</i>
7	<i>El sistema global moderno:</i> comprende todas las sociedades del mundo dentro de jerarquías de influencia, riqueza, poder	+ 6.000 millones
6	<i>Sistemas internacionales e imperios:</i> comprende grandes regiones relacionadas cultural, económica y, a veces, políticamente	Entre cientos de miles y millones
5	<i>Estados/naciones/ciudades/alianzas supratribales:</i> grandes sistemas económica y militarmente poderosos, con estado o estructuras protoestatales	Entre miles y cientos de miles
4	<i>Culturas/tribus/pueblos y aldeas próximas:</i> grupos reproductivos relacionados, a veces con jefatura única: «grandes hombres» o jefes	Entre 500 y varios miles
3	<i>Grupos reproductivos/grupos de aldeas:</i> grupos locales que están informalmente relacionados por la genealogía y la cultura y cuyos miembros suelen casarse entre sí	50-500 personas
2	<i>Grupos locales o de subsistencia/aldeas/hordas/campamentos de grupos:</i> grupos emparentados que viajan o viven juntos	8-50 personas
1	<i>Grupos parentales o familiares:</i> madre con hijos que suele vivir en el mismo habitáculo que el padre	2-8 personas

Pero la explotación, al igual que la simbiosis, nunca es sencilla ni inequívoca. Como la depredación en el mundo no humano, puede presentar aspectos más o menos brutales. Como han señalado Lynn Margulis y Dorion Sagan: «Los depredadores más despiadados, a semejanza de los microbios responsables de las enfermedades más temibles, acarrean a largo plazo su propia destrucción al matar a su víctima. La depredación contenida —la agresión que no mata del todo o mata lentamente— es un tema recurrente en la evolución^[5]». En las relaciones donde hay depredación contenida las dos partes pueden obtener algo y la explotación se puede moderar gracias a los intereses comunes. En los primeros estados, como los de Mesopotamia, China y Mesoamérica, la explotación podía adoptar formas extraordinariamente crueles, como los sacrificios humanos a gran escala. Pero así como los virus patógenos desarrollan a menudo cepas más moderadas para explotar a las víctimas sin matarlas, también los gobernantes humanos aprendieron con el tiempo a proteger a los campesinos a los que explotaban (al igual que los campesinos protegían sus rebaños). De este modo, los productores primarios acababan dependiendo tanto de los privilegiados que les gobernaban como éstos de aquéllos. William McNeill ha calificado de parasitismo estas nuevas relaciones: «Los gérmenes patógenos son los

microparásitos más temibles con que tienen que contender los humanos. Los únicos macroparásitos importantes que conocemos son esos humanos que se especializan en la violencia para vivir sin producir la comida ni los demás bienes que consumen^[6]. Tanto los privilegiados como los explotados tuvieron que adaptarse a la nueva «ecología» estratificada que se estaba formando en la sociedad humana, ya que las nuevas estructuras transformaban las antiguas estructuras domésticas de la aldea, la casa y la familia.

Las teorías «horizontalistas» de la formación del estado sostienen que cuando la sociedades se vuelven más complejas, sus miembros entienden que para sobrevivir necesitan estructuras de tipo estatal. Este proceso tiene unos paralelismos asombrosos en el mundo no humano. En la historia de muchas especies ha habido transiciones a niveles de mayor complejidad social, aunque al parecer no entre nuestros parientes los grandes simios. Ya hemos visto que las células independientes se combinaban, primero en estructuras laxas como los estromatolitos y las esponjas y finalmente en el interior de organismos policelulares como los humanos, en los que hay una división del trabajo entre los grupos de células, que dependen del buen funcionamiento de toda la comunidad. Los organismos policelulares también se pueden combinar para formar comunidades mayores. Unas, como las manadas de antílopes, son grandes pero simples; otras pueden ser muy complejas. Muchas especies de insectos sociales, como las hormigas, las termitas y las abejas, viven en comunidades densamente pobladas cuyos miembros dependen casi totalmente del conjunto. Su entorno (como las ciudades modernas) se reduce básicamente a otros miembros de la misma especie y a las estructuras que crean. En casi todas las comunidades complejas, como los nidos de termitas, los individuos se especializan al máximo, y se necesitan formas especiales de comunicación y coordinación si la comunidad quiere funcionar con eficacia. Los individuos se comunican por la vista, por el tacto e intercambiando productos químicos llamados *feromonas*. Aparecen comportamientos especiales para solucionar el hacinamiento, la contaminación y los conflictos entre los individuos. Y se forman las jerarquías.

Desde nuestro punto de vista humano, estas comunidades se parecen mucho a los estados, porque tienen su propio sistema de castas y métodos propios para controlar y disciplinar a los individuos. Éste es el motivo de que los investigadores humanos hablen con tanta naturalidad de las «abejas reina» o de las «hormigas obreras». Como ha señalado Lewis Thomas, las hormigas «se parecen tanto a los humanos que se nos suben los colores. Cultivan hongos, apacientan “rebaños” de pulgones, movilizan ejércitos para hacer la guerra, utilizan armas químicas para asustar y confundir al enemigo, capturan esclavos. Las familias de hormigas tejedoras se dedican a trabajos menores y sujetan las larvas como si fueran lanzaderas para tirar de los hilos que cosen las hojas para los huertos de hongos. Intercambian información sin cesar. Lo hacen todo menos ver la televisión^[7]». Las semejanzas son realmente inquietantes y dan credibilidad a las teorías horizontalistas de la formación del estado. Para éstas los

estados son soluciones a los problemas que experimentan todos los miembros de las comunidades hacinadas. También los humanos entendieron que al vivir en comunidades mayores y más complejas necesitaban repartir cometidos y conocimientos; este proceso exigió formas nuevas de comunicación, por ejemplo calendarios, para ayudar a los individuos a organizar sus actividades, o la escritura, para que hubiera constancia de las obligaciones y posesiones de los individuos. Los individuos se volvieron más dependientes del grupo, y el grupo tuvo que reorganizarse para que los individuos intercambiaron conocimientos y recursos. Sin embargo, cuando empezaron a coordinarse las energías y habilidades de millones de individuos, estas comunidades superiores adquirieron una potencia ecológica que ningún individuo podía igualar, aunque todos se beneficiaban de ella en mayor o menor medida. Así pues, la lógica de la formación del estado humano refleja los procesos que se dan entre los insectos sociales. La diferencia principal, tal como hemos visto al estudiar la aparición de la agricultura, es que los humanos se adaptaban culturalmente, mientras que los insectos evolucionaban genéticamente. Este detalle explica que la transición a la complejidad social fuera más rápida entre los humanos.

Toda explicación del poder del estado tiene que combinar la teoría verticalista con la horizontalista, porque en realidad son complementarias. Dedicaré el resto del presente capítulo a explicar sistemáticamente la aparición del poder estatal, con lo cual entiendo la concentración en pocas manos de una sustancial capacidad de control sobre muchos recursos humanos y materiales. Esta fórmula es demasiado ambigua para no suscitar polémicas (por la palabra *sustancial*, por ejemplo), pero contribuye a centrar la atención en dos requisitos fundamentales de las grandes estructuras de poder. La primera es la acumulación de abundantes recursos humanos, materiales e intelectuales; la segunda es la aparición de formas nuevas de administrar y controlar esos recursos.

INTENSIFICACIÓN: FORMAS NUEVAS DE EXTRAER RECURSOS DE LA NATURALEZA

Pasar a niveles de más complejidad supuso aprovechar y administrar nuevas fuentes de energía. Las nuevas fuentes de energía eran generadas por tecnologías más intensivas (el tema de la primera parte de este capítulo). La construcción de estructuras sociales capaces de administrar esos colosales flujos de energía sin venirse abajo fue una compleja labor que al final generó los mecanismos de coordinación que llamamos *estados* (tema de la segunda parte de este capítulo).

La transición a nuevos niveles de complejidad depende a menudo de mecanismos de retroacción positiva, ciclos en los que un cambio potencia otro y éste otro que a su vez amplía el primero, y así durante todo el ciclo. Una de estas cadenas causales desempeñó un papel fundamental en la transición a estructuras sociales más amplias

y complejas. Relaciona crecimiento demográfico, aprendizaje colectivo e innovación tecnológica (véase la figura 9.2). El aumento del tamaño y la densidad de las comunidades humanas potenció procesos de aprendizaje colectivo con el incremento del tamaño y la variedad de las redes por las que podían intercambiarse información y productos. La sinergia intelectual que flotaba en estas redes ampliadas fomentó el desarrollo de tecnologías nuevas y más intensivas que permitieron alimentar a comunidades humanas más numerosas aún^[8]. Este bucle de retroacción aceleró el ritmo de las innovaciones y el crecimiento, un efecto que explica en parte que la aparición de la agricultura fuera como pisar el acelerador de la historia humana. La velocidad de este cambio puede parecer lenta desde el punto de vista moderno, pero fue rápida desde la perspectiva del Paleolítico y vertiginosa en comparación con el ritmo del cambio genético en el mundo no humano.

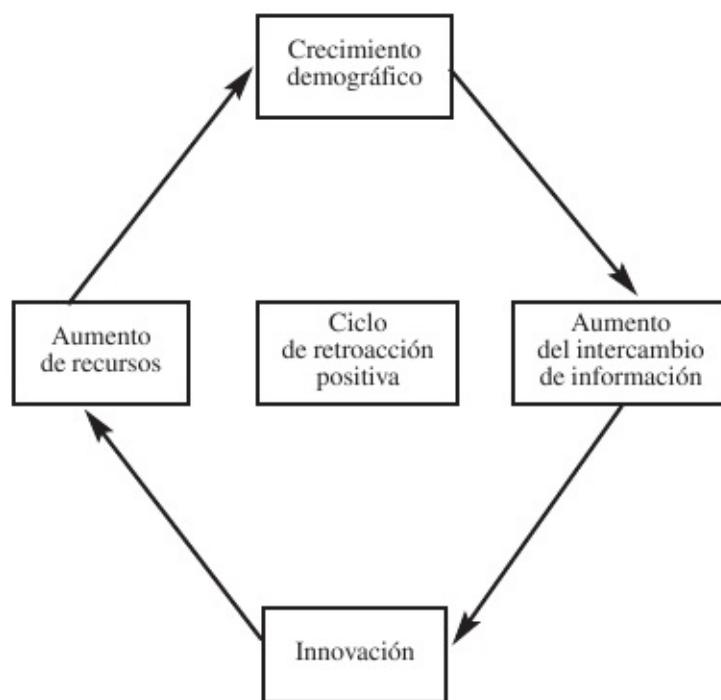


FIGURA 9.2. Crecimiento agrícola y demográfico: bucle de retroacción positiva.

Durante los milenios que siguieron a la invención de la agricultura aparecieron nuevas tecnologías en las zonas mundiales afroeurasiática y americana cuyo efecto final fue un mayor rendimiento de las tecnologías basadas en la aclimatación. A continuación describo tres cambios, de los más importantes, por orden de intensificación creciente: la agricultura de rozas, la «revolución de los productos secundarios» y el riego. La tabla 9.2 nos da una idea general del profundo impacto de los niveles de intensificación en la producción de alimentos por hectárea y en la densidad demográfica de diferentes eras de la historia humana.

TABLA 9.2. APORTE DE ENERGÍA Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN LA HISTORIA.

	<i>Aporte de energía (Gj/ha)</i>	<i>Producción de comida (Gj/ha)</i>	<i>Densidad de población (hab./km²)</i>
Caza/recolección	0,001	0,003-0,006	0,01-0,9
Pastoreo	0,01	0,03-0,05	0,8-2,7
Agricultura de rozas	0,04-1,5	10-25	10-60
Agricultura tradicional	0,5-2	10-35	100-950
Agricultura moderna	5-60	29-100	800-2.000

La agricultura de rozas es una forma seminómada de cultivo que todavía se practica ampliamente (sobre todo en ambientes forestales). En realidad fue esta forma de cultivo lo que permitió a los primeros agricultores alejarse de los suelos fáciles preferidos por los primeros granjeros y pasar a medios forestales como los del norte de Eurasia. Como se suele emplear el fuego para despejar la tierra que va a roturarse, la agricultura de rozas se puede considerar una adaptación de las técnicas paleolíticas de la agricultura «de antorchas» a las nuevas tecnologías de la era agraria^[9]. Es una forma de explotar los nutrientes acumulados en los árboles. Los agricultores de rozas suelen despejar un área de bosque talando los árboles; luego queman el tronco caído y siembran entre los tocones, en la tierra enriquecida por las cenizas. Los primeros cultivadores neolíticos de Europa plantaban cereales en terrenos despejados con hachas de piedra^[10]. En los claros recientes, los cultivos no sólo se nutren de las cenizas de los árboles talados, sino que están libres de la competencia de otras plantas, motivo por el que crecen con exuberancia. Pero la tierra suele agotarse al cabo de tres o cuatro años y es necesario cambiar de lugar. Donde la población es escasa, pueden desplazarse comunidades enteras en ciclos de 20-50 años, tiempo suficiente para que el sector de bosque explotado se regenere. Pero conforme aumenta la población, los ciclos se acortan inevitablemente y se abren claros de manera incansable, un proceso que al final conduce a la formación de los paisajes agrícolas sin bosque que tan habituales son en el mundo moderno. De este modo, la agricultura de rozas produjo al final una deforestación masiva. En conjunto y desde comienzos del Holoceno, los bosques se han reducido en un 20 por 100 aproximadamente y han pasado de 5000 millones de hectáreas a 4000 millones. Hasta hace poco, la reducción incidía más en la zona templada (32-35 por 100) que en los trópicos (4-6 por 100), pero en la actualidad se ha invertido la tónica y es mayor en las regiones de bosques tropicales^[11].

La «revolución de los productos secundarios»

La agricultura de rozas se ha practicado a distintos niveles en todas las zonas del mundo. Pero la segunda forma principal de intensificación se dio sólo en la zona afroeuroasiática, dado que dependía de los nuevos métodos de explotación de ganados y rebaños, y la extinción de la megafauna en América y en Australia apenas dejó especies domesticables a las que recurrir.

Cuando los agricultores se adentraron en las zonas templadas de la Europa oriental y central tuvieron que adaptar sus métodos de cultivo a climas más fríos y húmedos. Andrew Sherratt sostiene que entre 5000 a. C. y 3000 a. C. hubo cambios importantes en los métodos agrícolas que contribuyeron a solucionar este problema^[12]; y agrupa todos estos cambios bajo la etiqueta de «revolución de los productos secundarios». Las nuevas técnicas establecieron una simbiosis más estrecha con los animales domesticados y permitieron a los humanos explotarlos con más eficacia.

Al comienzo de la era agraria, los animales se domesticaban sobre todo para aprovechar su carne y su piel. Aunque había que alimentarlos toda la vida, sólo se les utilizaba una vez, cuando se les sacrificaba. Este método de explotación tan poco eficaz podría explicar por qué los animales eran menos importantes que las plantas para la mayoría de las comunidades de entonces. Sin embargo, entre 5000 a. C. y 4000 a. C., las comunidades agrícolas de ciertas regiones de Afroeurasia aprendieron a explotar a los animales sin sacrificarlos, aprovechando sus productos secundarios, sobre todo la leche y la lana. Y aprendieron además a utilizarlos como fuente de energía, en especial como fuerza de tracción. Los animales grandes como el caballo, el camello y el buey no tardaron en ser las fuentes de energía mecánica más abundantes y poderosas que había a mano. Fue una transformación revolucionaria, probablemente tan espectacular, a su modo, como la posterior revolución de los combustibles fósiles, ya que supuso el hallazgo de la forma de energía más importante que se conocía desde la introducción del fuego en la vida de los humanos. Los animales de tiro pueden producir entre 500 y 700 vatios de potencia, mientras que los humanos, en el mejor de los casos, sólo pueden producir alrededor de 75^[13]. La fuerza de tracción de los bueyes o los caballos se empleó para tirar de carros y arados y para transportar a los humanos.

Los arados, tirados por bueyes o caballos, tenían una importancia enorme; como remueven la tierra mucho mejor que los palos, sirven para arar los suelos más duros. El mayor aprovechamiento de los animales aumentó asimismo la cantidad de estiércol disponible para conservar la fertilidad del suelo. La explotación más eficaz de los animales aumentó la productividad de los agricultores y la creciente disponibilidad del estiércol y los arados permitió cultivar suelos menos productivos. Así, las nuevas técnicas permitieron que la agricultura llegara a regiones de suelo más duro y arcilloso, como los del norte de Europa.

Estos cambios posibilitaron además la colonización de las áridas estepas, ya que permitieron que algunos grupos se alimentaran únicamente con productos animales.

La revolución de los productos secundarios convirtió a los herbívoros domesticados en máquinas eficaces de transformar la hierba en energía utilizable por los humanos, del mismo modo que la revolución industrial, milenios después, encontraría nuevas formas transformativas de extraer energía del carbón. Los pastores explotaron las últimas tecnologías aprovechando las grandes praderas africanas y euroasiáticas que resultaban demasiado áridas para el cultivo. Como la forma más efectiva de explotar praderas era dejar que el ganado pastara suelto en ellas, los pastores solían llevar una vida nómada o seminómada. Por eso solemos pensar que el pastoreo es intrínsecamente nómada, aunque no lo es por necesidad. Las primeras formas de pastoreo aparecieron probablemente en las estepas del sureste de Rusia y del oeste de Kazajstán alrededor de 4000 a. C., pero el pastoreo montado, militarista y básicamente nómada de siglos posteriores no se desarrolló plenamente hasta el milenio a. C., cuando se perfeccionaron las sillas de montar. También hubo pastoreo en Asia suroccidental y en el este de África.

La revolución de los productos secundarios fue una forma de extensificación en la medida en que capacitó a las comunidades humanas para colonizar regiones que hasta entonces habían permanecido vírgenes. Pero también fue una forma de intensificación porque permitió que la colonización fuera demográficamente más densa y porque el uso de la tracción animal mejoró las redes viarias de toda Eurasia. A largo plazo transformó las comunicaciones, el comercio y la guerra en la zona afroeuroasiática, ya que permitió que el traslado de hombres y bienes, en carretas, carros de guerra (desde 2000 a. C. aproximadamente) o a lomos de animales, fuera más fácil y rápido y abarcase distancias mayores. Los pastores de Eurasia proporcionaron los vínculos que unieron las civilizaciones agrarias de China, la India y Mesopotamia en una sola red euroasiática de intercambios. De este modo, toda la región compartía tecnologías, religiones e incluso inmunidad a determinadas enfermedades. En general, las tecnologías de la revolución de los productos secundarios posibilitaron que la zona afroeuroasiática fuera la región de conocimientos comunes más grande del planeta^[14].

Se ha sostenido que la revolución de los productos secundarios, en especial la invención del arado, pudo haber desempeñado un papel decisivo en la jerarquización de las relaciones entre los sexos. En las sociedades hortícolas, como ya hemos visto, eran las mujeres las que por lo general trabajaban la tierra. Sin embargo, en las sociedades donde se labra con arado suelen ser los hombres los que se encargan de este cometido. Y se ha sugerido que la «apropiación» de la agricultura por los hombres representó un paso importante en la aparición de relaciones de género menos igualitarias. Según Margaret Ehrenberg: «Los antropólogos han demostrado que en las sociedades actuales hay una correlación significativa entre la agricultura con arado, la genealogía patrilineal y la propiedad de la tierra, del mismo modo que la hay entre la agricultura sin arado, la participación intensa de las mujeres y el fomento de su estatus social^[15]». Sin embargo, esta teoría tiene agujeros. Uno es que el hecho

de que los hombres dedicaran más tiempo a las labores agrícolas en las sociedades con arado no redujo la importancia del papel de las mujeres en las actividades productoras y reproductoras. Otro es que muchas sociedades en las que la revolución de los productos secundarios no propició ningún cambio, como las sociedades agrarias de América, también desarrollaron estructuras patriarcales acentuadas. En consecuencia, el patriarcado no debería relacionarse de modo determinista con la aparición de una forma de vida o una tecnología. Como expondré más abajo, es probable que el patriarcado institucionalizado apareciera con las jerarquías institucionalizadas en general: vino en el mismo paquete que (y mezclado con) la esclavitud, las clases, la exacción y el estado.

El riego

Al igual que la agricultura de rozas, en todas las zonas del mundo se practicó alguna clase de riego, aunque produjo más consecuencias en Afroeurasia que en América. En las tierras cálidas suele haber sol en abundancia para la función de la fotosíntesis, pero el desarrollo de las plantas está limitado por la escasez de lluvias. El riego es una forma de aprovechar el agua de los ríos o los pantanos en beneficio de los cultivos. Ha sido una de las formas más importantes de intensificación agrícola y en la actualidad sigue siendo decisiva, tanto en los jardines de las zonas residenciales suburbanas como en las grandes plantaciones de cereal del Medio Oeste de Estados Unidos. Las primeras formas de riego fueron por lo general muy sencillas y apenas supusieron otra cosa que cavar acequias para desviar el agua de los ríos hacia los campos cultivados. En las regiones con abundancia de agua, como la desembocadura del Éufrates, en el sur de Mesopotamia, el riego consistió más bien en la desviación de pequeñas partes del caudal que acarreaban los numerosos afluentes del Éufrates. Con estas técnicas, los agricultores aprovechaban la riqueza aluvial del suelo, cuyos sedimentos depositaban las aguas de los dos grandes ríos, el Tigris y el Éufrates. Con el paso del tiempo, sin embargo, conforme crecían las comunidades y aparecían formas nuevas de organización, el riego se volvió más complejo; se construyeron grandes redes de canales que se planearon concienzudamente y en las que trabajaron miles de personas. En las tierras áridas con suelo fértil, como las llanuras de Mesopotamia o los campos que flanquean el curso del río Amarillo, el riego podía elevar la productividad agrícola de un modo decisivo, razón por la que cabe decir que el riego ha sido una de las innovaciones tecnológicas más revolucionarias de todos los tiempos.

También se aplicó en muchas otras regiones. En Papúa y Nueva Guinea hay indicios de riego que se remontan a hace 9000 años. En el sur de China y otras partes del sureste asiático, los cultivadores de arroz idearon muchas técnicas de riego y escalonamiento del terreno para aumentar la productividad de su principal cultivo.

También en Mesoamérica aparecieron formas de riego nuevas y complejas, aunque en fecha posterior. Los mayas, en el I milenio a. C., secaron pantanos y los llenaron con desechos urbanos, con objeto de formar suelos productivos, manejables y capaces de alimentar a una población en rápido crecimiento. Las variedades mejoradas del maíz también aumentaron la productividad en esta región. Sin embargo, aquí no hubo ninguna revolución de productos secundarios, ya que no había animales grandes que además de domesticables fueran útiles en este sentido. Esta circunstancia fue determinante para la agricultura americana y podría explicar muchas diferencias que encontramos en la trayectoria histórica de América y Afroeurasia^[16].

Otras innovaciones

Hubo muchas más innovaciones en las regiones agrícolas, en la producción textil, en la alfarería, en la construcción y en la metalurgia, por señalar unos cuantos sectores. La alfarería más antigua que se conoce es la de la cultura jōmon de Japón, que posiblemente se remonta a comienzos del Holoceno. El primer testimonio de la alfarería en Mesopotamia es de 6500 a. C. aproximadamente. Las vasijas se utilizaban para transportar agua, para cocinar, para guardar alimentos. La alfarería de América central y del sur data probablemente de 3000 a. C. Tanto en la zona afroeuroasiática como en la americana, la alfarería fue un resultado natural en poblaciones que construían viviendas con barro y cocían los alimentos en hornos o al fuego. Durante la primera parte de la era agraria se trabajaron en muchas partes del mundo metales blandos como el oro, la plata y el cobre, aunque se utilizaron sobre todo para la ornamentación. El testimonio más antiguo de la metalistería mesopotámica data de 5500 a. C. aproximadamente; también en América se trabajaron estos metales, en fecha posterior. El uso de metales duros, aptos para fabricar armas y herramientas, fue más tardío, ya que para trabajarlos se necesitaban temperaturas elevadas y hornos más eficaces. Los metales duros se obtuvieron mediante aleaciones, como el bronce (que se hace con cobre y estaño, aunque a veces interviene el arsénico) y el hierro (que se vuelve durísimo combinado con el carbono). Sólo se conocieron en Afroeurasia. Es sorprendente que no se conocieran en otras partes del planeta, ya que el arte de trabajar los metales duros se parece al de cocer la cerámica. El bronce se trabajó por vez primera en Sumer, en el IV milenio a. C.; hacia el año 2000 a. C. se trabajaba también en China. La forja del hierro empezó probablemente en el Cáucaso, a mediados del II milenio a. C., y se difundió por todas las regiones de Afroeurasia en el milenio siguiente; por este motivo se suele llamar Edad del Hierro al I milenio a. C. El acero propiamente dicho se inventó probablemente en la época del imperio romano.

Crecimiento demográfico

La aplicación de tecnologías agrícolas más productivas catapultó el crecimiento demográfico. Pero el crecimiento demográfico en cuanto tal es una forma de intensificación, porque antes del hallazgo de los combustibles fósiles, los recursos energéticos de las sociedades humanas eran básicamente la fuerza muscular de los animales y la de los propios humanos. Así pues más personas y más animales equivalían a más fuerza productiva disponible allí donde las estructuras sociales tenían eficacia suficiente para controlar y coordinar las actividades de un gran número de personas y animales^[17].

En el Creciente Fértil, región donde se han estudiado mejor estos procesos, se puede ver la expansión a largo plazo de las comunidades aldeanas en el creciente número de poblados. Desde 5000 a. C. aproximadamente, fueron apareciendo aldeas en el sur del Creciente Fértil, en las llanuras desérticas y las tierras pantanosas que flanquean los grandes ríos de Mesopotamia. En las llanuras áridas se utilizó más el agua fluvial, mediante sistemas de riego sencillos. Los aldeanos de esta zona podían aprovechar además la abundancia de peces de los grandes ríos. Conforme las comunidades agrícolas multiplicaban, difundían y diversificaban sus técnicas, y mejoraban su productividad, aumentaban los recursos que producían y la población que vivía gracias a ellos. Según hemos visto, la población mundial pasó de 6 millones aproximadamente a 50 millones entre los años 8000 a. C. y 3000 a. C.

En la escala mayor, la tendencia a la acumulación es evidente. Pero conviene recordar que esa misma acumulación, en la escala de las décadas o los siglos, fue un proceso caótico y desigual. La densidad la población podía aumentar en una región y de pronto reducirse por culpa del cambio climático, del agotamiento del suelo o por cualquier otra causa. Como ha dicho Robert Wenke: «La verdad es que la historia de los comienzos de la complejidad parece un desordenado ciclo de “prosperidad o ruina”, en el que sólo a muy largo plazo se percibe una tendencia general a la complejidad^[18]».

JERARQUÍA: LA APARICIÓN DE LAS DESIGUALDADES EN RIQUEZA Y PODER

El aumento de las tecnologías productivas y del tamaño y la densidad de las comunidades forjó los requisitos necesarios para la aparición del estado.

Indicios de las primeras desigualdades

Al aumentar los recursos disponibles, las sociedades se enfrentaron por primera vez con el problema de los excedentes, cuyo control y distribución planteaba

dificultades desconocidas hasta entonces. Con una rapidez de vértigo, la distribución dejó de ser equitativa y aparecieron diferencias de poder y riqueza. Los excedentes empezaron a utilizarse para alimentar a especialistas privilegiados (mayoritariamente varones): artesanos, comerciantes, soldados, sacerdotes, escribas y gobernantes.

Vale la pena señalar la paradoja que encierra la formación de las jerarquías. Porque, en principio por lo menos, el aumento de la productividad en el marco de la revolución agrícola pudo haber elevado el nivel material de vida de todos los miembros de la sociedad. Pero no fue así. A diferencia del agua, que cuando se acumula busca la horizontalidad, en las sociedades complejas la riqueza material se acumula verticalmente, en forma de pirámide. Uno de los objetivos de este capítulo es proponer una explicación para este rasgo curioso pero fundamental de las sociedades complejas. Conforme aumentaba la densidad de población, los humanos, como las termitas, descubrieron que necesitaban organizar y coordinar sus actividades. Pero esto supuso ceder poder a organizadores que lo utilizaron tanto en beneficio propio como en el de la comunidad, y a veces más en beneficio propio. Todas las teorías verticalistas del estado prevén la aparición de la desigualdad.

Los arqueólogos conocen muchas formas de identificar la desigualdad. En las comunidades más desarrolladas de la primera era agraria —por ejemplo, el pueblo anatolio de Çatal Hüyük, que prosperó entre 6250 a. C. aproximadamente y 5400 a. C., comerció con obsidiana en un amplio territorio y alcanzó una población que osciló entre 4000 y 6000 habitantes— apenas hay indicios de que hubiera diferencias de riqueza significativas. Sin embargo, se aprecian pequeñas diferencias en sus sepulturas, y los arqueólogos sostienen que esta diferenciación refleja una de las primeras reacciones al aumento de la densidad de población: la formación de clanes jerarquizados. Conforme crecen las comunidades, el concepto de parentesco y los mecanismos sociales basados en él se estiran al máximo. Es imposible concebir una comunidad de 4000 personas como una familia. No obstante, es posible conservar un sentido informal del parentesco suponiendo que todos los miembros de la comunidad tienen un antepasado común. (Que sea mítico o real es lo de menos). Una vez que se produce esto, la lógica simbólica del parentesco impone que los linajes remonten su genealogía a diferentes hijos del antepasado fundador, unos a los hijos más antiguos, otros a los hijos más jóvenes. De este modo puede acabar hablándose de linajes antiguos o superiores y de linajes modernos e inferiores, del mismo modo que los individuos pueden jerarquizarse dentro de las familias de acuerdo con la edad. Los linajes jerarquizados surgen de manera natural de la ideología del parentesco, pues incluso en las comunidades más igualitarias vemos que los individuos se jerarquizan dentro de las familias por edades y antigüedad. Así pues, el concepto de parentesco predispone a los individuos de manera natural a aceptar la autoridad de los miembros más antiguos de los clanes más antiguos.

Los arqueólogos saben que cuando hay diferencias en el tamaño de las casas y en el valor de los objetos que contienen es que hay desigualdad. Los objetos especiales y

la indumentaria pueden ser indicios de una posición social elevada. La calidad de vida y los niveles alimenticios también nos informan sobre las jerarquías, porque los grupos privilegiados, de manera casi invariable, estaban mejor alimentados que los sometidos. Los bioarqueólogos encuentran a menudo sensibles diferencias de estatura entre los miembros de los distintos grupos sociales. Según John Coastworth: «Entre los antiguos mesoamericanos, las minorías dominantes de nobles, sacerdotes y guerreros controlaban el acceso a los alimentos, en particular a las escasas fuentes de proteínas. [...] En la Inglaterra de 1800, los varones adultos de la nobleza medían diez centímetros más que la población en general^[19]».

No menos indicativa es la aparición de la arquitectura monumental. Unos monumentos, como Stonehenge, no tienen funciones prácticas evidentes. Es posible que fueran centros ceremoniales o quizá observatorios astronómicos. Otros, como los zigurat y pirámides de Mesopotamia, Egipto y Mesoamérica, solían ser lugares de sepultura, o palacios, o templos, y en cualquier caso lugares que ponen de manifiesto la existencia de individuos de posición elevada. Estos monumentos han aparecido en todas las sociedades en las que luego se ha organizado un estado y en muchas que no acabaron desarrollando estructuras estatales. El caso más espectacular es sin duda el de las pirámides de Egipto, la primera de las cuales se construyó a mediados del III milenio a. C. La aparición de estos monumentos indica que el pensamiento religioso también estaba cambiando conforme las comunidades humanas crecían y se volvían más complejas. Del mismo modo que aparecieron las jerarquías entre los humanos, empezaron a aparecer dioses privilegiados que exigían un apropiado nivel de respeto. Porque, como sugería ya el sociólogo Émile Durkheim, nuestra idea del funcionamiento del universo suele reflejar el funcionamiento de nuestras sociedades. La mejor forma de respetar a estos dioses más venerables, temibles y lejanos era construirles edificios especiales, edificios que se acercaran más al cielo que las viviendas corrientes, edificios donde los humanos pudieran rendir homenaje ofreciendo sacrificios y dádivas. Podemos estar seguros de que allí donde aparece la arquitectura monumental hay dirigentes o administradores poderosos, porque alguien ha de coordinar el trabajo de cientos, incluso miles de individuos. De este modo, el poder secular y el religioso fueron juntos con frecuencia. Los dirigentes esperaban despertar temor y veneración construyendo tales edificios, temor y veneración hacia el poder de los dioses y también hacia la majestad de los sacerdotes y gobernantes que trataban directamente con los poderosísimos dioses y supervisaban la construcción de su residencia. La arquitectura monumental es símbolo e instrumento de poder al mismo tiempo.

El primer monumento mesopotámico es probablemente el templo de Eridú, que data de 5000 a. C. aproximadamente. Los zigurat del IV milenio a. C. fueron magníficas estructuras escalonadas que se construyeron con gran despliegue de detalles arquitectónicos y cantidades ingentes de mano de obra. Fueron un impresionante escenario donde se representaron ceremonias religiosas y políticas. Las

primeras pirámides mesoamericanas las construyeron los olmecas, a comienzos del II milenio a. C. Hacia 2000 a. C. aparecieron impresionantes monumentos funerarios incluso en las regiones menos pobladas, como las estepas de Eurasia, donde había pocos pueblos y casi toda la población se dedicaba al pastoreo ambulante. La gigantesca tumba de Aryán, en Tuva, que se remonta al siglo VIII a. C., pone de manifiesto la riqueza y la mano de obra que podían mover los poderosos dirigentes esteparios, a menudo explotando los recursos de las vecinas comunidades sedentarias. La tumba de Aryán constaba de setenta cámaras dispuestas como los radios de una rueda; el túmulo medía 120 metros de anchura y contenía alrededor de 160 caballos de silla^[20]. En el centro estaban enterrados un hombre y una mujer, vestidos con pieles y con adornos sofisticados. Es evidente que gobernaban una confederación tribal grande y poderosa, porque había príncipes y nobles inferiores enterrados al sur, al oeste y al norte, y es posible que algunos fueran sacrificados en el mismo rito funerario. También apareció arquitectura monumental, y de escala asombrosa, en una de las comunidades más perdidas de la era de las civilizaciones agrarias: en Rapa Nui (isla de Pascua). Con una población de varios miles de individuos, los jefes locales competían entre sí en la construcción de grandes estatuas.

En las regiones con gran densidad de población, las nuevas comunidades acabaron organizándose en redes cuya topología dependía menos del relieve del terreno que de la existencia y situación de otras colonias. Es una pauta de conducta conocida, incluso en la actualidad, en las regiones densamente pobladas. Las aldeas tienden a distribuirse, siguiendo modelos parecidos, alrededor de poblaciones más grandes que hacen las veces de centros de gravedad en las redes locales de intercambio. De este modo pueden formarse redes jerarquizadas de aldeas pequeñas que rodean aldeas mayores agrupadas alrededor de pueblos que a su vez pueden arracimarse en torno a una ciudad importante. Incluso en los pueblos más pequeños suele haber instituciones que están ausentes en las aldeas, por ejemplo un templo, o un almacén, incluso la residencia de un sacerdote o un jefe. Por norma, pues, las poblaciones mayores que hacen de centro de gravedad local contendrán más diferencias que las aldeas satélite. Hay claros indicios de que en la época de Eridú, en el V milenio a. C., aparecieron en Mesopotamia núcleos de dos niveles. Los pueblos grandes suelen tener entre 1000 y 3000 habitantes y en muchos hay terrazas ceremoniales de una u otra clase, así como zonas especiales de almacenamiento, de manera que pudieron haber sido mercados y también centros religiosos.

Un indicio de desigualdad más palpable es la aparición de conflictos generalizados o guerras. Los testimonios fundamentales son aquí las fortificaciones y las sepulturas con armas. En la cultura ucraniana de Tripolye, que había sido una región típicamente igualitaria de comienzos de la era agraria, las aldeas empezaron a multiplicarse alrededor de 4000 a. C. y solían fundarse en puntos de fácil fortificación. En las estepas euroasiáticas, las guerras reflejaban el creciente enfrentamiento entre las comunidades sedentarias de agricultores y las incipientes

comunidades de pastores nómadas. Las lujosas sepulturas de pastores que aparecen a fines del III milenio indican que los pastores de entonces se enriquecían a veces a costa de comunidades agrícolas peor armadas.

En la base de estas incipientes jerarquías estaban los esclavos y otros subordinados. Sus amos los trataban como si fueran reservas energéticas, baterías vivas, ganado humano. Desde el punto de vista de la mecánica, los humanos son excelentes transformadores de alimentos en energía, y en consecuencia los esclavos humanos solían valorarse más que los esclavos animales, cuando podían tenerse^[21]. El alto valor de los seres humanos como fuente de energía explica hasta cierto punto por qué estuvo tan extendida la esclavitud en el mundo premoderno, del mismo modo que la existencia de los combustibles fósiles explica hasta cierto punto la desaparición casi total de la esclavitud en nuestros días. Los trabajos forzados y la esclavitud humana existieron bajo múltiples formas en las civilizaciones agrarias; y algunos esclavos o subordinados llegaban a veces a posiciones de poder y riqueza. Pero los propietarios utilizaban a la mayoría como si fueran fuentes de energía almacenada: allí donde la fuerza humana de trabajo era una fuente de energía tan importante como lo es hoy el petróleo, dominar la energía equivalía a dominar a las personas. Para adaptar mejor a los esclavos a la sumisión, a menudo se les separaba de sus familias al nacer. Y al igual que a los animales domésticos, a muchos se les mantenía deliberadamente en un estado de dependencia infantil que venía a ser como una mutilación psíquica, ya que durante toda la vida eran como niños y esta indefensión facilitaba su control. Los esclavos, tanto humanos como animales, podían controlarse mejor si se les hacía depender económica y psíquicamente de los amos.

Como las incipientes jerarquías alteraron asimismo la definición de los roles sociales de los hombres y las mujeres, empezaron a jerarquizarse no sólo las clases y las ocupaciones, sino también los sexos. Los hombres privilegiados acabaron dominando mayoritariamente las jerarquías. ¿Por qué se asocia normalmente la jerarquía con el patriarcado? La hipótesis más simple —que los hombres eran menos importantes que las mujeres en la casa familiar, la célula básica de la sociedad humana— podría ser la mejor explicación. Las nuevas formas de poder aparecieron por encima del nivel de la familia a consecuencia de una división del trabajo de creciente complejidad. Los agentes del poder eran los especialistas en el poder, la administración, la obtención de información, el combate o la religión. Pero estas funciones especializadas estaban por lo general más a disposición de los individuos cuyo papel en el seno familiar era menos importante^[22]. En sociedades que desconocían el biberón y los métodos anticonceptivos estos individuos eran los hombres (o las mujeres de la aristocracia, algunas de cuyas funciones podían desempeñar otras mujeres). Así, mientras que hilar y tejer se consideraban labores propias de las mujeres en muchas sociedades, al margen de que el producto se consumiera dentro de la familia o se vendiera en el mercado, los tejedores especialistas o a tiempo completo solían ser hombres. Conforme la división del

trabajo se volvía más compleja, los papeles especializados, fuese en la guerra, en la esfera religiosa o en el gobierno, estuvieron por lo general (aunque no siempre) más a disposición de los hombres que de las mujeres, porque solía ser más fácil para los hombres estar en el eje de las redes locales de intercambio. Y de este modo apareció en muchas comunidades agrícolas grandes una distinción entre el mundo doméstico, por lo general dominado por las mujeres, y el terreno público, por lo general dominado por los hombres.

El patriarcado fue la expresión de la naciente diferencia en poder y riquezas en las relaciones entre los sexos, porque muchos papeles especializados permitieron a los hombres acceder a nuevas formas de riqueza y poder. El aumento de poder dio a su vez a los hombres privilegiados más influencia en las definiciones públicas de los papeles de género. Que las primeras historias escritas, de las que tanto depende la historiografía moderna, se elaborasen en el seno del naciente ámbito público, y que sus autores fueran mayoritariamente hombres, contribuye a explicar por qué se concentraron en los asuntos públicos y en las gestas masculinas. Y es posible que estas obras, por estar escritas por hombres, nos hayan hecho creer que el patriarcado era más simple de lo que era en realidad, al ocultar a los investigadores modernos las complejas negociaciones que se desarrollaban en todas las familias y las múltiples circunstancias en que tanto hombres como mujeres eludían o atenuaban las convenciones sociales que consideraban opresivas.

Nuevas formas de poder y control: el poder basado en el consentimiento

¿Cómo explicaríamos esta acentuación del escalonamiento del poder y la riqueza en las comunidades agrícolas grandes? Los antropólogos han demostrado que los individuos de las comunidades nómadas pequeñas se oponen por lo general a que otros individuos asuman posiciones de mando. ¿Cómo es que aparecieron las jerarquías con esta resistencia?

Los modernos estudios sobre comunidades aldeanas, más el testimonio arqueológico, proponen una serie de etapas mediante las que ciertos individuos o ciertos grupos pudieron haber empezado a dirigir el trabajo y los recursos de otros^[23]. En muchas comunidades humanas, el poder y los recursos se ceden voluntariamente a los cabecillas de confianza. Podemos llamar a esta operación *poder basado en el consentimiento* o poder desde abajo. En las comunidades grandes, sin embargo, los dirigentes podían utilizar los recursos encomendados a su custodia para crear nuevas formas de poder que les permitieran coaccionar a los individuos a los que gobernaban, por lo menos a algunos. Éste sería el *poder coercitivo* o poder desde arriba^[24]. Esta diferenciación se corresponde con la que ya hemos expuesto a propósito de la formación del estado entre las teorías verticalistas y las horizontalistas. En la práctica, todos los estados se basan en los dos tipos de poder y

los dos están siempre interrelacionados. Sin embargo, hay una clara secuencia lógica e histórica que va del poder basado en el consentimiento hacia el poder basado además en la coacción^[25].

Cuando no hay estructuras estatales, todo el mundo puede recurrir a la violencia, de modo que ésta es una forma poco fiable de controlar personas o recursos. Pero hay muchos motivos por los que las comunidades aldeanas pueden ceder voluntariamente a los cabecillas de confianza *un poco* de dominio sobre sus recursos y su trabajo. La lógica es la misma que la del nido de termitas. Cuando crecen las comunidades, aparecen problemas nuevos que piden soluciones colectivas. Las actividades agrícolas, económicas y religiosas tienen que coordinarse con más cuidado; deben solucionarse los conflictos internos; y es necesario negociar los conflictos con las comunidades vecinas. Tratar estos problemas con eficacia suele ser cuestión de vida o muerte, ya que el fracaso puede representar el hambre, la enfermedad o la derrota en la guerra. Son problemas que las familias no pueden resolver por separado, motivo por el que a las casas les interesa delegar autoridad. En pocas palabras, la mayoría de los habitantes de una comunidad puede participar voluntariamente en la construcción de muros sociales sencillos que concentren los recursos excedentes en depósitos controlados por los dirigentes tribales o religiosos. Podríamos imaginar que estas primeras estructuras de poder eran como los primeros canales de riego. Como ya hemos visto, éstos eran estructuras sencillas que consistían básicamente en acequias y diques pequeños, y se podían construir y mantener con la cooperación más o menos voluntaria de comunidades enteras.

Una vez que se decide delegar autoridad, conviene nombrar dirigentes buenos. Hay varios factores que pueden influir en cómo se elige a los dirigentes y en qué poderes se les otorga. Que muchas funciones de mando supongan tareas y habilidades especializadas explica por qué los hombres las desempeñaban más a menudo que las mujeres, ya que los primeros eran menos necesarios en el seno familiar y tenían más tiempo para asumir funciones especializadas. Allí donde había linajes jerarquizados, es probable que se eligiera a los miembros de mayor edad de los clanes más antiguos para desempeñar funciones de representación o de administración, salvo que fueran unos incompetentes totales. En los conflictos internos es probable que se eligiera a individuos conocidos por su santidad, o por su capacidad diplomática, o por su prudencia; en los conflictos con otras comunidades, los que mostraban habilidades militares tenían las de ganar. Y podía nombrarse a los que gozaban de un trato especial con los dioses, como los chamanes y los sacerdotes, cuando las crisis necesitaban la intervención divina. Haciendo valer esta autoridad, los dirigentes religiosos solían acumular recursos que entregaban a los dioses en forma de sacrificios u ofrendas.

En ocasiones, sin embargo, se concedía la autoridad a cambio de favores pasados, siguiendo una versión modificada de las normas básicas de la reciprocidad. Así se explica una institución cuyas leyes podrían parecer extravagantes a los modernos: el

«gran hombre». La etiqueta es apropiada, porque el papel estaba muy especializado y parece que lo desempeñaron mayoritariamente hombres. De un modo u otro ha habido hombres importantes en muchas comunidades de tiempos recientes y es probable que el papel existiera también en muchas sociedades prehistóricas. Los estudios clásicos sobre el tema se deben al antropólogo Bronislaw Malinowski, que estuvo investigando en Melanesia a comienzos del siglo xx. En Bougainville se denominaba *mumi* a los grandes hombres. El *mumi* trabajaba intensamente para acumular bienes y celebrar un banquete. Acosaba a sus parientes y él mismo se mataba trabajando para conseguir más bienes de prestigio, como los ñames y los cerdos. Cuando había acumulado bienes suficientes, invitaba a todo el mundo a un gran banquete. He aquí un caso descrito por Marvin Harris a propósito de los hombres importantes de Bougainville: «En un gran banquete celebrado el 10 de enero de 1939 y concurrido por 1100 comensales, el *mumi* anfitrión, que se llamaba Soni, regaló treinta y dos cerdos y grandes cantidades de puré de sagú. Soni y sus seguidores, sin embargo, no probaron bocado. “Ya comeremos de la fama de Soni”, decían los seguidores^[26]». Desde el punto de vista comercial, esta conducta no tiene ningún sentido. Pero lo tiene desde el punto de vista social, porque hacer regalos crea obligaciones. Hacer regalos era en el mundo del parentesco lo que invertir es en el mundo comercial: desprenderse de recursos con la esperanza (siempre incierta) de recuperar en el futuro más de lo gastado. Aunque el coste de estos banquetes podía arruinar al *mumi*, también le daba cierto derecho a reclamar favores a quienes estaban en deuda con él.

Los antropólogos han observado en muchas sociedades la presencia de estos banquetes o «jornadas de regalos». Entre los ejemplos más conocidos está el *potlatch* de los indios del noroeste de Norteamérica, como los kwakiutl. Los jefes kwakiutl acumulaban mantas y otros bienes y luego los regalaban en el curso de aparatosas ceremonias llamadas *potlatch*. Los favores adeudados a un gran hombre podían convertirse directamente en formas de poder más significativas, por ejemplo pidiendo el gran hombre a sus deudores que le ayudaran a atacar a una tribu vecina. El ataque, a su vez, podía traducirse en bienes que podían utilizarse con otro criterio de redistribución.

Los antropólogos identifican una forma de poder más significativa aún en las sociedades preestatales: la *jefatura*. Las definiciones de lo que es un *jefe* son hasta cierto punto arbitrarias y ninguna abarca los matices del mundo real, aunque los antropólogos suelen utilizar el término para designar a dirigentes de poderosos linajes aristocráticos que tienen autoridad sobre muchas aldeas, grupos y clanes más pequeños, con una población de miles de individuos. Su autoridad se basa por lo general en su posición social dentro del sistema de linajes jerarquizados, lo cual suele permitirles la movilización de ingentes recursos. En las islas Trobriand, estudiadas por Malinowski, los jefes podían gobernar muchas aldeas y tener miles de súbditos. A menudo encabezaban ataques contra otras islas y los súbditos los trataban con gran

deferencia. Malinowski cuenta que cierta vez que apareció en público el jefe de una aldea, todos los habitantes cayeron a tierra inmediatamente, «como derribados por un huracán^[27]». Las aldeas abastecían de ñames a los jefes para cumplir con las obligaciones del parentesco. De este modo, y gracias a los protocolos del parentesco, el jefe acababa controlando más recursos que otros. Los ñames en cuestión solían repartirse en banquetes, que creaban más obligaciones, o se empleaban para pagar a especialistas, por ejemplo a guerreros o a constructores de canoas. Las jefaturas todavía no son estados, dado que pueden escindirse fácilmente en facciones tribales o de clan. Sin embargo, los recursos concentrados daban mucho poder a los jefes, que en ocasiones los utilizaban para coaccionar a los individuos o grupos reacios a aceptar su autoridad.

Son formas de poder todavía limitadas y precarias. Los gobernantes deben adaptarse a las necesidades del mundo organizado por parentescos en el que viven, porque en gran medida son siervos de aquellos a quienes gobiernan. Si no cumplen con sus deberes de dirigentes, pueden perder rápidamente su influencia y sus seguidores pueden abandonarlos. Los antropólogos llaman *segmentarias* a estas estructuras porque pueden fragmentarse fácilmente en los segmentos que las componen.

A pesar de estas limitaciones, el poder basado en el consentimiento puede dar a los dirigentes capacidad para dominar muchos recursos materiales y humanos; este rasgo hace que el poder basado en el consentimiento sea la base imprescindible para la construcción de estructuras de poder más amplias y duraderas. Lo que posibilitó la transición a formas de poder más duraderas y coercitivas fue la aparición de centros demográficos mayores y más concentrados, en concreto la aparición de las primeras ciudades.

Las primeras ciudades

Las ciudades (en el extremo inferior del nivel 5 de la tabla 9.1) son algo más que aldeas grandes. Con los primeros pueblos y ciudades aparecieron los primeros entornos totalmente humanizados. En ellas había multitudes que para sobrevivir dependían por completo de otros individuos, y aparecieron nuevas formas de complejidad y de jerarquía. El requisito fundamental para que haya ciudades es que la productividad alcance tal nivel que la población rural pueda alimentarse a sí misma y a un excedente de población de no agricultores (véase la figura 9.3). La existencia de ciudades presupone una compleja división del trabajo, tanto en sentido horizontal como en sentido vertical.

La primeras ciudades aparecieron en Mesopotamia. Los procesos seguidos en esta región son los que más han estudiado los arqueólogos, de modo que primero los describiré y luego me plantearé hasta qué punto fueron procesos típicos^[28]. La

población aumentó rápidamente en el delta del Éufrates y el Tigris en el IV milenio a. C. Es posible que este crecimiento se debiera a los cambios climáticos, porque los climas se volvieron más fríos y secos hacia 3500 a. C., fecha a partir de la cual el Sahara, una región de estepas y sabanas, se transformó en un árido desierto. El cambio pudo haber conducido a un declive de la agricultura en algunas zonas de Mesopotamia, pero el sur era una región de pantanos y de islotes dispersos ocupados por aldeas. Al secarse el clima, hubo más tierra para colonizar y los pantanos se convirtieron en fértiles tierras de labor que producían varias cosechas al año con los sistemas de riego más elementales. Los cultivos más importantes eran trigo, cebada, dátiles y varias clases de legumbres. Había ganado abundante y pesca en los grandes ríos. Fue una tardía versión de los «jardines del Edén» que habían atraído a los cazadores-recolectores para instalarse allí a comienzos del Holoceno.

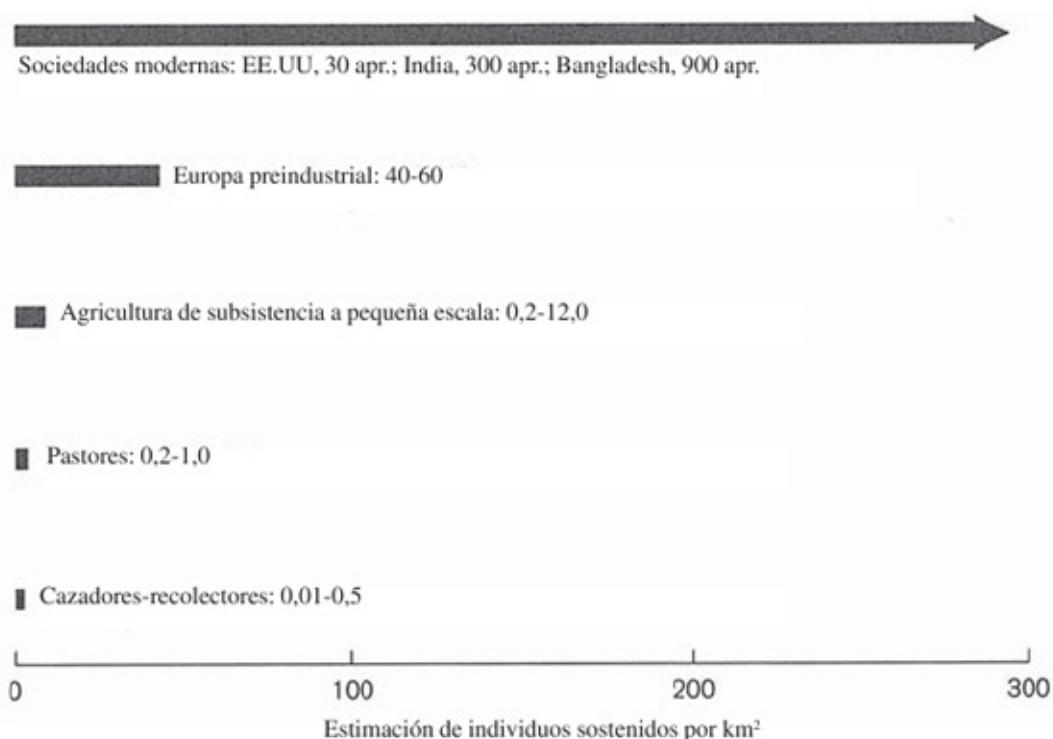


FIGURA 9.3. Umbrales de productividad en la historia humana: densidades de población en distintos regímenes de vida. Datos tomados de Massimo Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, trad. inglesa de Carl Ipsen, Blackwell, Oxford, 1992, p. 27, y de Allen W. Johnson y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies: From Foraging Group to Agrarian State*, Stanford University Press, Stanford, 2000², p. 125.

Otro factor que podría contribuir a explicar el crecimiento demográfico en el sur de Mesopotamia fue la cambiante topología de las redes regionales de intercambio. Andrew Sherratt sostiene que

en los primeros tiempos de Ubaid, las tierras bajas de Mesopotamia eran un lodazal: una región llena de lodo. Había gente que vivía allí en chozas de hierba, gente que utilizaba hoces de barro, pero no era el lugar más animado del mundo. ¿Dónde se estaban produciendo los acontecimientos interesantes? En dos regiones cercanas: en el arco septentrional del creciente fértil, por el que circulaba sin cesar toda clase de piedras, metales y cerámica decorada [...] y en las costas del golfo Pérsico, sobre las que sabemos menos, dado que en gran medida están sepultadas por el fango mesopotámico que se ha acumulado en las desembocaduras de

los ríos, pero en las que hubo un comercio marítimo muy activo que se ha mantenido hasta nuestros días. El espacio que había entre ambas era lo de menos... *hasta que las dos se tocaron*^[29].

Según Sherratt, el tráfico de comerciantes a lo largo de los grandes ríos fue la oportunidad que necesitaban las tierras bajas de Mesopotamia. Al prosperar los intercambios, lo que hasta entonces había sido un lodazal se convirtió de pronto en la zona central de largas redes de intercambio por las que circulaban obsidiana, metales, alfarería y bienes semitropicales del sur. Entre las dos ricas regiones del Creciente Fértil y el golfo Pérsico se produjo una especie de arco voltaico, y dio la casualidad de que debajo del chisporroteo estaba la Mesopotamia meridional^[30]. El aumento de su población reflejó no tanto las condiciones locales cuanto la cambiante topología de unas redes de intercambio que cruzaban buena parte del suroeste de Asia.

Es posible que las dos explicaciones se complementen. La creciente aridez obligó a las poblaciones a concentrarse geográficamente y al mismo tiempo estrechó los corredores por donde circulaban las mercancías. Sucedió algo parecido en Egipto, donde las poblaciones y seguramente también las redes de intercambio acabaron concentrándose conforme el Sahara se secaba y empujaba a los humanos hacia las riberas del Nilo^[31]. Fueran cuales fuesen las causas, la Mesopotamia meridional atrajo a más colonos, algunos de los cuales tal vez procedieran de tierras ya demasiado áridas para el cultivo. El territorio que luego se llamó Sumer fue la región agrícola más densamente poblada del mundo entre 3500 a. C. y 3200 a. C. Los colonos recién llegados no tardaban en organizarse en jerarquías de tres niveles y tal vez cuatro. Y en la cabeza de estas jerarquías había un grupo de grandes centros regionales, entre ellos Uruk y Nippur.

Algunos de estos pueblos se expandieron rápidamente y se convirtieron en auténticas ciudades —las primeras de que tenemos noticia— en los últimos siglos del IV milenio. A diferencia de las aldeas y los pueblos de comienzos de la era agraria, la mayoría de los cuales consistía en una yuxtaposición de casas suficientes y semejantes, las ciudades importaban de otros lugares buena parte de la comida que consumían y tenían una compleja división del trabajo. Uruk era un centro regional a principios del IV milenio, tenía unos 10 000 habitantes y varios templos. En 3000 a. C. era ya una ciudad de 50 000 almas y con murallas bien fortificadas. Las casas eran de adobe y de paredes enjalbegadas, un modelo que todavía puede encontrarse actualmente, y formaban calles estrechas. Aunque casi todas eran de una sola planta, las ricas solían ser de dos. En el centro, en un zigurat de 12 metros de altura, se alzaba el «Templo Blanco» (véase la figura 9.4).

Hacia principios del período dinástico (c. 2900-800 a. C.) apenas quedaban ya localidades pequeñas en Mesopotamia meridional. Casi todos los habitantes de la región vivían en ciudades. Estas concentraciones humanas no tenían precedentes en la historia de la especie. Es evidente que la supervivencia de estas poblaciones tan densas se debía a los fértiles y ahora bien regados suelos de la región del delta. Pero ¿por qué se trasladaban tantos aldeanos a las ciudades? Había una hostilidad creciente

entre los pueblos y las ciudades de la región; puede que los aldeanos se refugiaran en los pueblos en que se sintieran seguros y que todos los días fueran a trabajar a los campos cercanos. Pero es posible que también la gradual aridez los empujara hacia las ciudades.

Las ciudades, como las estrellas, curvaban el espacio-tiempo social de la región en que están enclavadas y atraían los bienes, las personas y las habilidades de las aldeas y pueblos de los alrededores. En consecuencia, se convirtieron automáticamente en importantes focos de intercambio. Las redes regionales de intercambio se articularon en estructuras más complejas y jerárquicas, y en las ciudades se concentraron más actividades, más riquezas y más conocimientos. El porvenir de las regiones contiguas dependió de manera progresiva del hallazgo de un nicho en estas nuevas redes de poder y riqueza.

Las ciudades exigían nuevas formas de organización social. Hans Nissen ha argüido que conforme se secaba el sur de Mesopotamia, se hicieron imprescindibles los sistemas de riego planificados y cuidadosamente administrados, con objeto de alimentar a la creciente población de la zona^[32]. Los arqueólogos han cartografiado la rápida aparición de complicadas redes de acequias, sobre todo alrededor de los principales centros demográficos. La dependencia de los grandes sistemas de riego y la necesidad de sentirse seguros obligaron a los aldeanos a cooperar más entre sí y con los pueblos, que eran los que tenían los recursos y la capacidad para gestionar los sistemas de riego de los que dependían. Los dirigentes de los pueblos podían reclutar mano de obra para cavar y limpiar las acequias. Y podían dirimir las complejas disputas por el uso del agua que son inevitables en las comunidades que dependen de sistemas de riego a gran escala.

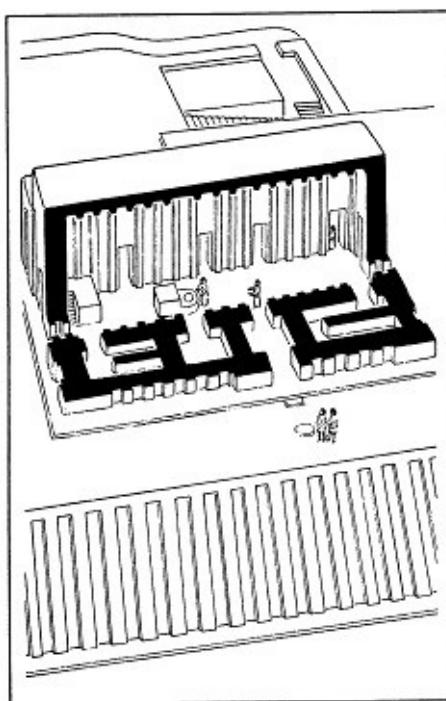


FIGURA 9.4. Primera arquitectura monumental: el «Templo Blanco» de Uruk, en Mesopotamia meridional, a finales del IV milenio a. C. De A. Bernard Knapp, *The History and Culture of Ancient Western Asia and Egypt*, Dorsey, Chicago, 1988, p. 44, tomado de Helen y Richard Leacroft, *The Buildings of Ancient Mesopotamia*, Brockhampton Press, Leicester, y Young Scott Books, Reading (Mass.), 1974.

Los primeros estados: el poder basado en la coacción

Los primeros estados se fundaron para «solucionar» los múltiples problemas que se creaban en estas comunidades tan densamente pobladas. Pero ¿por qué? Ya hemos visto que las estructuras de poder más básicas son como diques que pueden crear pequeños embalses de recursos excedentes. Las ciudades, sin embargo, exigían diques sociales mayores y más resistentes. Para administrar sus colosales reservas de riqueza necesitaban estructuras equivalentes a los gigantescos sistemas de riego de las ciudades sumerias. La política del consenso ya no podía gestionar la ingeniería social a esta escala.

La ciudad fue crucial para estos cambios, porque por propia naturaleza fue un concentrador de poder^[33]. Por un lado concentró en un solo lugar unas formas de autoridad y una fuerza de trabajo que hasta entonces habían estado dispersas en vastos territorios y entre comunidades muy diferentes. Por otro, la institución de estas comunidades tan grandes y densas exigió nuevas formas de poder; porque conforme crecían en tamaño las comunidades, se agudizaban los problemas organizativos que planteaban. Las ciudades necesitaron mecanismos especiales para resolver enfrentamientos, para organizar los intercambios entre los agricultores y los especialistas, para construir almacenes con vistas a las épocas de hambre, para administrar el agua y eliminar los desechos, para construir fortificaciones y acequias, y para organizar la guerra y la defensa. Por suerte, los procesos económicos y demográficos que crearon estas necesidades pusieron también mayores recursos en manos de los dirigentes. Conforme aumentaba la necesidad de una administración centralizada, aumentaban los recursos a disposición de las autoridades centrales. Estos dos factores combinados explican por qué una institución como el estado se formó precisamente a raíz de la aparición de concentraciones demográficas muy densas, fuese en ciudades (como en la Mesopotamia meridional) o en regiones abarrotadas de aldeas y pueblos grandes muy poblados (que fue el modelo egipcio). Donde la mayoría de la población era urbana, como en Mesopotamia, los primeros estados adquirieron normalmente la forma de ciudades-estado; en cambio, en regiones como Egipto, donde la población estaba menos concentrada y los recursos tenían que recorrer mayores distancias, apareció bajo la forma de estado territorial^[34].

El estado (en el nivel 5 de la tabla 9.1) se diferencia de la tribu (franja superior del nivel 4) sobre todo por su capacidad para coaccionar sistemáticamente y a gran escala^[35]. Los estados, como los jefes, afirman a menudo que representan a los «linajes más antiguos», aunque éstos estén cada vez menos relacionados con los

linajes vigentes. Pero allí donde no bastan las formas tradicionales de lealtad, los estados, a diferencia de los jefes, tienen a su disposición métodos coercitivos, sufragados por los inmensos recursos que han acumulado.

La forma más sencilla de representarse el poder estatal en su versión más rudimentaria es imaginar a un jefe con recursos suficientes para costearse un ejército o un séquito. Marvin Harris ilustra esta forma de poder con el caso de los bunyoro de Uganda, que estuvieron gobernados en el siglo XIX por un dirigente hereditario al que llamaban el *mukama*^[36]. Tenía autoridad sobre unas 100 000 personas que vivían básicamente de cultivar panizo y plátanos. Formalmente, el *mukama* sólo era el jefe de una serie de cabecillas. Como todo jefe tradicional, pasaba por ser un «gran proveedor» y recibía homenajes y tributos. Pero, en la práctica, su poder se basaba en algo más que las obligaciones del parentesco, porque los jugosos tributos que recibía los empleaba en organizar una guardia de palacio y un séquito de criados, con médicos, músicos, etc. Su personal armado le otorgaba poder para apropiarse de las tierras de un jefe o una aldea. A semejanza del rey Lear, recorría el país con su séquito y exigía a los jefes locales y a las aldeas que les alimentaran durante la visita.

Tal es el modelo de muchos estados primitivos que no han pasado todavía a formas tributarias más burocráticas. Coincide con lo que sabemos del primer estado chino, el de los Shang^[37]. La misma lógica se desprende del siguiente pasaje de una crónica de los *rus* medievales. Se refiere al gran príncipe Vladimiro, del siglo X d. C.:

En cierta ocasión [...] cuando los invitados estaban ya borrachos, [los del séquito de Vladimiro] empezaron a renegar contra el príncipe y a quejarse de que les trataba mal, porque para comer les daba cucharas de madera y no cucharas de plata. Cuando Vladimiro se enteró de estas quejas, ordenó que se fabricaran cucharas de plata para que las usaran sus hombres, comentando que con la plata y el oro no se garantiza un séquito, pero que gracias al séquito él estaba en condiciones de conquistar estos tesoros, del mismo modo que su abuelo y su padre los habían buscado con sus seguidores^[38].

La observación de Vladimiro refleja sólo la mitad de la cruda dialéctica del poder; en la práctica, como él sabía muy bien, la plata y el oro se necesitaban para pagar a los soldados que le ayudaban a conseguir más plata y más oro. En los escritos del emperador bizantino Constantino Porfirogéneta (que reinó entre 913 y 959) hay una soberbia descripción del mecanismo por el que el abuelo de Vladimiro y su padre conseguían tributos con ayuda de sus *druyini*, sus guardias armados:

Cuando comienza noviembre, los jefes y todos los rusos a la vez parten de Kíev y hacen *poliudie*, que significa «la ronda», y esto quiere decir que van a las tierras eslavas de los vervios, los dregoviches, los krivichi, los severianos y los demás eslavos que pagan tributo a los rusos. Allí los alimentan durante todo el invierno, pero cuando llega el mes de abril y se derriten los hielos del Dniéper, vuelven a Kíev^[39].

Aunque los estados como el del *mukama* bunyoro o el de los *rus* del siglo X consisten en poco más que en la figura del gobernante que utiliza los recursos que supervisa para financiar un séquito de soldados, es evidente que han cruzado la frontera entre el poder basado en el consentimiento y el poder apoyado

sistemáticamente en la coacción. No obstante, son tan rudimentarios que muchos expertos en ciencias políticas a duras penas los considerarían estados y reservarían este término para esas estructuras más complejas que surgen cuando los gobernantes pueden formar burocracias especiales y ejércitos organizados. En la presente etapa, estas estructuras empiezan a encajar en la definición de Charles Tilly de que los estados son «organizaciones aglutinadas por la coacción que se diferencian de las casas familiares y los grupos de parentesco, y tienen una clara primacía en algunos aspectos sobre las demás organizaciones en amplios territorios. Por lo tanto, el término incluye las ciudades-estado, los imperios, las teocracias y muchas otras formas de gobierno, pero excluye las tribus, los linajes, las empresas comerciales y las iglesias como tales^[40]».

Pero tampoco deberíamos exagerar el poder de estas estructuras mayores. Aunque podían utilizar la violencia, a veces de un modo espectacular y horrible, el dominio real que tenían sobre las actividades cotidianas de la mayor parte de la población, en particular en las zonas rurales, era insignificante en comparación con el de los estados modernos. En parte se debió a que disponían de una energía limitada; como ha señalado John McNeill, la energía que controlaban era básicamente la fuerza física humana, y esto significa en la práctica que «los emperadores Ming y los faraones de Egipto no tenían más poder efectivo que el que pueden tener hoy el conductor de una excavadora o el jefe de un carro de combate^[41]». Hasta cierto punto, la debilidad de los estados preindustriales reflejaba su limitado alcance burocrático. En realidad, la prontitud con que los primeros estados recurrián a la violencia y a los ejércitos para aplicarla era un signo de debilidad, no de fuerza. Los estados tradicionales compensaban con la violencia lo que les faltaba en competencia burocrática^[42]. Anthony Giddens señala que «el gobernante puede tener autoridad sobre la vida de sus súbditos en el sentido de que si no obedecen, o se rebelan abiertamente, puede ejecutarlos. Pero tener “poder sobre la vida y la muerte” en este sentido no es lo mismo que capacidad para controlar la vida cotidiana de la mayoría de la población, cosa que no está al alcance del gobernante^[43]». Los estados tradicionales no solían tener un poder total ni siquiera sobre las organizaciones militares formales del territorio, y pocos sabían con exactitud dónde terminaba su autoridad y dónde empezaba la de los potentados regionales. Fuera de las ciudades tenían normalmente poca autoridad sobre las formas más localizadas de violencia que se utilizaban para recaudar tributos, acusar a los delincuentes, enfrentarse a los bandidos y reparar las injusticias locales. Estos mecanismos de poder estaban en manos de minorías o clanes locales. Para la mayoría de los individuos, la reparación de injusticias seguía siendo asunto de la familia o del clan, que podían buscar el apoyo de los protectores o funcionarios locales. Y la violencia, como era de esperar, era un elemento omnipresente incluso en las familias, donde se empleaba para hacer valer la autoridad de los varones y los de más edad^[44].

Pero a despecho de estas limitaciones y a pesar de la ausencia de un monopolio estatal de la violencia, los primeros estados fueron estructuras mucho más imponentes que las jefaturas. Y dondequiera que los encontramos, aparecen relacionados con el mismo conjunto de rasgos: nuevas formas de especialización, división general del trabajo, burocracia, sistemas de contabilidad y escritura, ejércitos y sistemas tributarios.

División del trabajo. En el sur de Mesopotamia, las aldeas autosuficientes y relativamente igualitarias de la primera era agraria eran ya cosa del remoto pasado a finales del IV milenio a. C. La agricultura, durante dos mil años por lo menos, había sido suficientemente productiva para alimentar a una población no agricultora de sacerdotes, alfareros y otros especialistas. Puede verse la creciente especialización en la aparición de alfareros profesionales ya en el V milenio. Se sabe porque se han excavado talleres que contenían equipo especializado, por ejemplo tornos de alfarero. De finales del IV milenio en adelante se mantiene incólume una larga lista de oficios diversos, la llamada Lista Oficial de Profesiones^[45]. En ella constan los sacerdotes, los funcionarios y artesanos de muchas clases, como plateros, albañiles, alfareros, escribas e incluso encantadores de serpientes. Parece que muchas profesiones se organizaron en gremios o sociedades parecidas. Había una compleja estructura de clases, con reyes-dioses, aristócratas, comerciantes, artesanos, agricultores, escribas y finalmente los esclavos (que eran sobre todo agricultores o nómadas arruinados y prisioneros de guerra). De la riqueza de los gobernantes dan testimonio las impresionantes tumbas de Ur, datadas a finales del IV milenio y excavadas por Leonard Woolley. Los gobernantes eran enterrados con gran lujo y magnificencia, y parece que se sacrificaba a algunos individuos para que los sirvieran en el más allá. Los comerciantes eran una parte fundamental de la división urbana del trabajo, porque las ciudades como Uruk necesitaban más bienes de los que producían los agricultores de la zona. Además necesitaban piedra, lana y bienes de lujo que las flotas mercantes, unas organizadas por los mandatarios y otras por los comerciantes, se encargaban de transportar por el Tigris y el Éufrates. En el otro extremo del espectro están los testimonios que hablan de una clase pobre, compuesta por esclavos, vagabundos, cautivos de guerra y agricultores venidos a menos. Por ejemplo, desde el principio del período de Uruk aparecen unos cuencos de lados inclinados, fabricados burdamente pero al parecer de manera masiva, y que probablemente se utilizaron para la comida de las levas de trabajadores. Apoya esta interpretación la aparición posterior del símbolo de comer, que muestra a una persona vertiéndose en la boca comida de uno de estos cuencos^[46]. Quizá eran trabajadores de esta clase los que integraban los ejércitos de mano de obra que se utilizaban en la construcción de fortificaciones y murallas, y en el mantenimiento de las acequias.

Hacia 3200 a. C., la sociedad sumeria había alcanzado una escala que ya no podía gestionarse con la mentalidad tradicional del parentesco. En pocas palabras, la

sociedad era demasiado grande y compleja para que todos encajaran en los modelos de parentesco, que cada vez eran más complicados. En su lugar aparecieron nuevas categorías: el oficio, el lugar de origen, lo que los sociólogos modernos llamarían *clase* o *estamento*. Pese a todo, la mentalidad del parentesco siguió siendo la base de las relaciones en los niveles inferiores de la sociedad, circunstancia que podría explicar por qué las formas simbólicas de la ideología del parentesco pervivieron en el pensamiento religioso de los primeros estados. Los gobernantes solían representarse como «padres» de sus súbditos, y también los dioses se consideraban a menudo padres o madres de poblaciones concretas.

Burocracia, contabilidad y escritura. Administrar los inmensos recursos concentrados en los primeros estados era una compleja labor contable y burocrática. Por este motivo, los primeros estados mantenían a funcionarios que llevaban listas de las cosas que se administraban. La necesidad de tener bajo control los grandes almacenes de comida y otros recursos acumulados por el estado explica por qué aparecieron sistemas de escritura en zonas del mundo muy distantes entre sí, como Mesopotamia, Egipto, India septentrional, China y Mesoamérica, dentro del proceso de la formación del estado. La escritura apareció como una forma de contabilidad y de dominio, no como un medio de registrar las palabras habladas^[47]. (China podría ser hasta cierto punto una excepción, ya que las primeras formas de escritura que aparecieron allí estaban más relacionadas con actividades religiosas que con la contabilidad)^[48]. Fuera cual fuese su origen, la escritura fue una forma nueva de almacenar información y, por lo tanto, de controlarla. Como no utilizaba el simbolismo ambiguo de las imágenes, la escritura posibilitó el almacenamiento del conocimiento con la precisión del lenguaje hablado. De este modo estabilizó e incluso anquilosó el conocimiento empírico, protegiéndolo de la variabilidad que acompaña necesariamente a la transmisión oral. Pero las habilidades que exigía estuvieron durante milenios monopolizadas por grupos privilegiados y sobre todo por los varones de estos grupos. En consecuencia, quienes más se beneficiaron de la capacidad de atesorar información con la escritura fueron los grupos privilegiados y los varones. La escritura fue un medio muy poderoso de concentrar en manos de unos pocos los conocimientos acumulados por millones.

En la Mesopotamia meridional se utilizaban objetos de arcilla, en representación de diferentes clases de mercancías, como símbolos de tal o cual propiedad, y esto ya en el VIII milenio. En el IV milenio arraigó la costumbre de unirlos en unas esferas de arcilla llamadas *bullae*. Desde fines del IV milenio, que es cuando empezaron a formarse las ciudades, los propietarios comenzaron a utilizar una especie de sellos cilíndricos que podían pasarse por encima de las bulas para especificar su contenido. Este procedimiento volvió innecesarias las bulas y los sellos no tardaron en emplearse para hacer incisiones en tablillas planas. Más tarde, los funcionarios abandonaron los sellos y empezaron a hacer incisiones en las tablillas con estiletes de

caña. Los estiletes venían a ser como los lápices y con ellos se grababan en la arcilla unos símbolos que invariablemente tenían forma de cuña (motivo por el que esta escritura se denomina *cuneiforme*). Al principio eran simples imágenes de lo que representaban, pero muy pronto se estilizaron (véase la figura 9.5). La escritura cuneiforme, al principio, daba para poco más que para elaborar inventarios, pero así bastó para que funcionara con eficacia como método de contabilidad. Casi todo el material escrito de Uruk que ha llegado hasta nosotros consiste en listas de mercancías recibidas y distribuidas.

Lo que había empezado como forma de registrar empezó a convertirse en un auténtico sistema de escritura a comienzos del III milenio a. C., conforme los símbolos de los objetos y los movimientos se adaptaban poco a poco a papeles más abstractos y pasaban a describir sentimientos e incluso funciones gramaticales y sílabas. En este momento la escritura fue algo más que un simple sistema de contabilidad. La clave de estos cambios fue el principio del jeroglífico: utilizar un símbolo (ya existente) de un objeto concreto para representar otra palabra que sonaba de un modo parecido a la primera. Por ejemplo, el símbolo sumerio de «flecha» se pronunciaba *ti*. Las flechas podían dibujarse fácilmente. Pero la palabra «vida», una idea más abstracta, también se pronunciaba *ti*, de modo que para representar la «vida» podía emplearse igualmente el símbolo de la flecha. Poco a poco se simplificó el sistema de símbolos, aunque en 1900 a. C. aún consistía en 600 o 700 elementos y por la forma estaba más cerca de la escritura china moderna que de los modernos alfabetos silábicos.

Objeto representativo	Pictograma	Neosumerio/ babilonio antiguo	Neoasirio	Neohabilonio	Castellano
	⊕田	田	𠂔	𠂔	Oveja
	↶↷	←→	←→	←→	Ganado bovino
	↘	𠂔𠂔	𠂔𠂔𠂔	𠂔𠂔𠂔	Perro
	☳	☳	☳	☳	Metal
	◑	◑	◑	◑	Aceite
	●	●	●	●	Ropa
	◆	◆	◆	◆	Pulsera
	▨	▨	▨	▨	Perfume

FIGURA 9. 5. Evolución de la escritura cuneiforme en Mesopotamia. Tomado de A. Bernard Knapp, *The History and Culture of Ancient Western Asia and Egypt*, Dorsey, Chicago, 1988, p. 55: con permiso de *Archaeology Magazine*, Archaeological Institute of America.

La escritura jeroglífica se utilizó en Egipto por lo menos desde los tiempos de Menes, hacia 3100 a. C. En el valle del Indo hubo escritura desde 2500 a. C. aproximadamente. En China hubo varios sistemas de escritura por lo menos desde 1200 a. C. y empleaban muchos signos que todavía hoy resultan legibles. Los primeros alfabetos aparecieron en las ciudades mercantiles de Fenicia durante el II milenio a. C. Se basaron en signos consonantes tomados de los jeroglíficos egipcios. Los signos de las vocales no se utilizaron hasta los tiempos de la Grecia clásica. Idear alfabetos con una pequeña cantidad de letras simplificó la escritura y la lectura, y liberó la alfabetización del cerrado círculo de los diestros y superespecializados escribas. Pero a pesar de esta democratización parcial de la alfabetización, el poder que generaba siguió siendo monopolio de grupos privilegiados hasta fecha muy reciente.

En la zona mesoamericana, en concreto en el sur de México, aparecieron sistemas de escritura alrededor de 600 a. C. Que la función principal de casi todos los primeros sistemas de escritura fue la contabilidad lo corrobora en cierto modo el caso excepcional de los incas, que gobernaron la única civilización agraria importante que

desconoció la escritura; sin embargo, los incas disponían de una nutrida burocracia que llevaba la contabilidad utilizando cuerdas con nudos, llamadas *quipus*. No debería sorprender a nadie que todas las civilizaciones agrarias inventaran, además de sistemas de escritura, complejos sistemas de matemáticas. También idearon los calendarios, otro instrumento esencial en toda sociedad compleja que tuviera que coordinar las actividades de miles o millones de personas, con objeto de que pagaran sus impuestos a tiempo. Los primeros calendarios aprovecharon el vasto saber astronómico que se había acumulado en todas las sociedades de comienzos de la era agraria y que es palpable incluso en la lejana Inglaterra, en el monumento megalítico de Stonehenge, que empezó a construirse en el III o II milenio a. C.

Ejércitos e impuestos. Los estados pueden coaccionar porque son capaces de movilizar amplios séquitos o grupos de hombres armados. A mediados del IV milenio, casi todas las poblaciones de la Mesopotamia meridional estaban fortificadas, lo que indica que la guerra era frecuente. Los testimonios arqueológicos y escritos del III milenio revelan un mundo en guerra casi constante. Los conflictos se agravaron a causa de la incansable reducción del caudal de los ríos que había comenzado a mediados del IV milenio, fenómeno que, sobre todo donde dio lugar a interferencias artificiales en el curso de las aguas, produjo cambios periódicos en su recorrido. A finales del primer período dinástico, durante la primera mitad del III milenio, el curso del Éufrates se desvió hacia el este de Uruk. La desaparición del río causó la rápida decadencia de Uruk y el auge de ciudades como Umma y Girsu (en Lagash), que estaban a orillas del nuevo cauce. Estos cambios dieron lugar a violentos conflictos militares, de modo que no es de extrañar que las primeras literaturas y crónicas que aparecieron en el III milenio traten sobre todo de la guerra.

Los ejércitos capacitaban a los estados para mediar en conflictos internos e imponer tributos con más eficacia. En los primeros estados, los tributos consistían casi totalmente en productos alimenticios, que entregaban los campesinos y que se empleaban para alimentar a los nobles o a los funcionarios del gobierno, o en mano de obra que se utilizaba para trabajar en las tierras de los nobles o en las obras públicas^[49]. El factor coacción es precisamente lo que diferencia la exacción de los métodos utilizados para acumular recursos en las sociedades preestatales. El antropólogo Eric Wolf sostiene que podría ser la diferencia más importante entre las sociedades con estado y las sociedades anteriores^[50].

Las sociedades «de exacción»

Los recursos, en las sociedades que Wolf llama «de relaciones de parentesco», se recogían en buena medida con el consentimiento de los contribuyentes. Cuando aparecen los estados hay siempre un elemento de coacción, dado que los recursos se

recogen bajo la forma de impuestos o lo que Wolf llama «tributos». Tales son los argumentos para pensar que las sociedades con estado son estructuras sociales totalmente nuevas. Según Wolf, la aparición de las sociedades que él llama «de exacción» representa una transformación de primer orden en las formas de vida y la organización de las sociedades humanas. En la tabla 9.3 vemos que su clasificación de los principales «modos de producción» coincide con otras tipologías sociales que ya conocemos. El teórico social Anthony Giddens viene a decir lo mismo con una terminología distinta: «En las sociedades de clases [las “sociedades de exacción” de Wolf], la extracción del excedente de producción se respalda normalmente con la amenaza o el uso de la fuerza^[51]».

Combinados de un modo u otro, los ingredientes descritos en este capítulo estuvieron presentes en todas las regiones donde se formaron los primeros estados: en Afroeurasia, en América e incluso en las islas mayores del Pacífico, como Tonga y Hawái. Ante todo, la formación de poblaciones densas, que generó una compleja división del trabajo que planteó nuevos problemas organizativos, promovió la necesidad por resolver conflictos y la frecuencia de la guerra, y fomentó la construcción de grandes monumentos y la aparición de una forma u otra de escritura. Aquí resulta pertinente poner otro ejemplo, esta vez de Mesoamérica.

TABLA 9.3. TIPOLOGÍA DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS Y FORMAS DE VIDA.

<i>Tecnología/ formas de vida</i>	<i>Modo de producción</i>	<i>Descripción</i>	<i>Era en la que imperó</i>
Sociedades cazadoras-recolectoras	Relaciones de parentesco	Las tecnologías dominantes en el Paleolítico utilizaban instrumentos de piedra y se basaban en formas de vida cazadoras-recolectoras; escala pequeña (organizadas hasta el nivel 3*), pero indicios de nivel 4 en culturas regionales y sistemas intertribales; demografía baja, pero con crecimiento lento desde 50.000 a.p. aproximadamente	Paleolítico: hasta 10.000 a.p. aproximadamente en el mundo en general; hasta hoy en algunas zonas
Sociedades agrarias (primeras sociedades agrarias)	Relaciones de parentesco	Las tecnologías dominantes en la era agraria se basaban en la aclimatación de plantas y en la domesticación de animales; sostenían sociedades preestatales y a pequeña escala (hasta nivel 4); y...	Agrícola: entre 10.000 a.p. aproximadamente y 200 a.p. Primera era agraria: hasta 5000 a.p. aproximadamente; en unas zonas empezó más tarde, en otras dura hasta hoy
Sociedades agrarias (civilizaciones agrarias)	Exacción de tributos	Sociedades a gran escala organizadas en ciudades y estados (hasta nivel 6); crecimiento demográfico más rápido, pero crisis periódicas de población; pastoreo, rasgo típico de la vida del Neolítico, basado sobre todo en la explotación de animales domesticados y a menudo nómada	Era agraria posterior: entre 5.000 a.p. aproximadamente y 200 a.p.; en algunas zonas empieza más tarde
Sociedades modernas Capitalista		Las tecnologías dominantes en la era moderna se basan en la investigación científica; capaces de sostener un sistema global (nivel 7); crecimiento demográfico sin precedentes	Moderna: aproximadamente desde 1750 d.C.

* Véanse la tabla 9.1 y la figura 9.1 para los niveles de organización social.

El primer testimonio claro de la presencia de comunidades sedentarias de agricultores en Mesoamérica se remonta a 2000 a. C. aproximadamente. Los testimonios encontrados en los Andes son algo anteriores, de 2500 a. C. aproximadamente^[52]. Después de esta fecha se multiplican los testimonios de la progresiva complejidad social, entre ellos una arquitectura monumental y estructuras de población de dos o tres niveles, hasta que en el I milenio a. C. podemos identificar las primeras estructuras estatales. Como sucede en el caso del Viejo Mundo, es una tentación entender la intensificación y el crecimiento demográfico como los principales motores del cambio. En los Andes y en Mesoamérica ya había poblaciones con montículos o pirámides a principios del II milenio a. C. Es posible

que fueran los centros ceremoniales y quizá también comerciales de muchas aldeas satélite. Su aparición sugiere la presencia de formas primitivas de jefatura.

A mediados del II milenio apareció la civilización olmeca en las tierras bajas de la costa oriental de México. La población vivía sobre todo de la agricultura de rozas, pero en algunas regiones sembraba además los fértiles suelos de aluvión. Como en la Mesopotamia de mediados del IV milenio, la civilización olmeca constaba de un gran número de núcleos demográficos jerarquizados. Tenía asimismo arquitectura monumental y artesanos muy diestros. En lugares como La Venta y San Lorenzo se construyeron grandes centros ceremoniales, algunos con pirámides de hasta 33 metros. Al principio fueron tumbas, pues casi todas contienen sepulturas complejas que constituyen una sólida prueba de que había rígidas jerarquías sociales y políticas, además de ser símbolos idóneos de éstas. Para construir la principal pirámide de La Venta se necesitaron por lo menos 800 000 días de trabajo individual y en el pueblo vivían unas 18 000 personas^[53]. Los olmecas levantaron gigantescas estatuas o cabezas monumentales, muy hermosas desde el punto de vista moderno, con grandes masas de basalto que se recogían en lugares situados a 80 kilómetros y que probablemente se transportaban con el concurso de cientos de personas. La brutalidad con que se destruyeron algunos centros olmecas pone de manifiesto que también allí había guerra organizada. Hay indicios de formas primitivas de escritura y es posible que los olmecas se adelantaran a los sistemas de escritura que se desarrollaron en Mesoamérica y cuyas versiones tardías han acabado por descifrarse en fecha muy reciente. Los restos de una escultura olmeca tardía que parece utilizar un sistema cronológico parecido al de los mayas permiten pensar que los olmecas pudieron haber inventado además los sistemas cronológicos que se difundieron por toda Centroamérica^[54]. Por último, hay indicios de redes tributarias o comerciales de gran extensión, ya que la obsidiana se recogía en grandes cantidades en las zonas montañosas del centro de México.

Como las de Mesopotamia, las primeras civilizaciones mesoamericanas cristalizaron en tierras pantanosas, pero con el tiempo las poblaciones se fueron trasladando a regiones con agricultura dependiente del régimen pluvial. En el valle de Oaxaca, a unos 500 kilómetros al sur de la actual Ciudad de México, en una región de aldeas pequeñas, empezaron a formarse núcleos mayores alrededor de 1300 a. C., algunos con grandes edificios, al parecer públicos. Desde 1000 a. C. aumentó rápidamente el tamaño de tales edificios. La población se multiplicó y la producción agrícola se intensificó gracias a la construcción de un gran sistema de canales. Hay indicios del aumento de la especialización, sobre todo de los oficios como la alfarería, y los sistemas de intercambio y los mercados crecieron. También hay indicios que hacen pensar que hubo formas primitivas de escritura. Más tarde, ya en 600 a. C., hay claras muestras de la existencia de un sistema de gobierno de nivel estatal, con la capital en Monte Albán. Hacia 400 a. C. había por lo menos siete pequeñas ciudades-estado en el valle de Oaxaca, así que la región empezó a tener hasta cierto punto el

aspecto de Sumer a finales del IV milenio. Hacia 200 d. C. es posible que la población de todo el valle rondara los 120 000 habitantes. En su momento de más esplendor, entre 200 d. C. y 700 d. C., Monte Albán llegó a tener unos 17 000 habitantes^[55].

Aunque las civilizaciones agrarias aparecieron en América unos dos mil años después que en Mesopotamia, las semejanzas en la historia de las dos regiones sugieren una vez más que la formación del estado fue una explosión social cuya mecha se encendió al comienzo de la era agraria. El dinamismo demográfico introducido en la historia humana por la agricultura garantizaba que los humanos, al igual que las termitas, tendrían que afrontar antes o después el problema, desconocido hasta entonces, de coexistir en densas comunidades de congéneres. Pese a todas las diferencias locales, las soluciones que los humanos encontraron en diferentes partes del mundo fueron muy parecidas entre sí... y también sorprendentemente parecidas a las encontradas por las termitas y otros insectos sociales.

RESUMEN

El impulso tecnológico de comienzos del Holoceno generó nuevas tecnologías que incrementaron la producción y alimentaron a poblaciones mayores y más densas. Estas tecnologías fueron la agricultura de rozas, la revolución de los productos secundarios y el riego. Conforme crecían las comunidades, aumentaban las dificultades administrativas y los humanos acabaron enfrentándose a problemas muy parecidos a los de otros animales, como los insectos sociales. Para solucionarlos, las comunidades no tuvieron más remedio que delegar el poder administrativo en ciertos grupos privilegiados. Los gobernantes, al principio, gobernaron con el consentimiento manifiesto de los súbditos. Pero con el tiempo controlaron grandes cantidades de recursos; y en las comunidades mayores, estos recursos capacitaron a los gobernantes para articular formas de poder más coercitivas. Por lo tanto, no es una coincidencia que las primeras ciudades aparecieran al mismo tiempo que los primeros estados, a finales del IV milenio a. C. Los estados representan el nacimiento de una comunidad de nuevo cuño, que Eric Wolf denomina sociedad «de exacción». En estas comunidades, los grupos privilegiados utilizaban la fuerza o las amenazas para controlar los recursos excedentes. Las sociedades de exacción han sido las más poderosas y las más visibles durante la mayor parte de la historia escrita.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Este capítulo debe mucho a *The Early History of the Ancient Near East* (1988), donde Hans Nissen detalla la aparición de los estados sumerios, y ha tomado algunas

ideas de «The Origin of Pristine States» (1978), el ya clásico artículo de Marvin Harris. También pueden encontrarse descripciones generales en Göran Burenhult, ed., *The Illustrated History of Humankind*, vols. 3 y 4 (1994); Michael Coe, *Mexico* (1994⁴); Robert Wenke, *Patterns in Prehistory* (1990³); Charles Maisels, *The Emergence of Civilization* (1990); y Bruce Trigger, *Early Civilizations* (1993). La literatura sobre el origen del estado es muy abundante; Elmer Service repasa las principales teorías en *Primitive Social Organization* (1971²), al igual que Robert Cohen y Elmer Service, eds., en *Origins of the State* (1978). Allen Johnson y Timothy Earle, *La evolución de las sociedades humanas* (2000²), es la descripción general más reciente; adopta un punto de vista evolucionista al que probablemente se opondrán muchos antropólogos. «The Secondary Products Revolution» (1983) de Andrew Sherratt es el trabajo clásico sobre esta importante revolución tecnológica, mientras que *Women in Prehistory* (1989) de Margeret Ehrenberg estudia las posibles repercusiones de estos cambios en la división sexual del trabajo. Anatoly Khazanov, *Nomads and the Outside World* (1994)², y Thomas Barfield, *The Nomadic Alternative* (1993), ofrecen buenas descripciones del pastoreo; Peter Golden, «Nomads and Sedentary Societies in Eurasia» (2001) es una introducción útil y sucinta. D. T. Potts, *Mesopotamian Civilizations* (1997), hace hincapié en los problemas ecológicos.

Capítulo 10

LA ERA DE LAS «CIVILIZACIONES» AGRARIAS: TENDENCIAS A LARGO PLAZO

La presencia de la era de las civilizaciones agrarias ha sido preponderante en las versiones convencionales de la historia humana, entre otras cosas porque las civilizaciones agrarias fueron las primeras comunidades que dejaron los testimonios escritos en los que luego se basó la historiografía moderna. Por este motivo conocemos detalladamente esta era. Sin embargo, repetir la descripción detallada de estos tiempos no es conveniente desde el punto de vista de la escala de la gran historia. Además, ya existen muchas y excelentes descripciones al respecto. En este capítulo, por el contrario, analizaremos algunas de las macroestructuras y tendencias que moldearon la era en cuestión. Los enfoques tradicionales, que se centran en civilizaciones o culturas concretas, pueden perfectamente descuidar estas tendencias. Como ha señalado Robert Wright, la historia del mundo antiguo puede parecer a menudo una imagen imprecisa de civilizaciones y pueblos, de auges y decadencias. Pero «si mirásemos de más lejos y prescindieramos de los detalles borrosos, tendríamos una imagen más general: los siglos pasan y las civilizaciones vienen y se van, pero la civilización prospera, aumenta su radio de acción y su complejidad^[1]».

Este capítulo, que repasa los 4000 años y pico durante los que las civilizaciones agrarias fueron las comunidades más poderosas del planeta, examina primeramente las estructuras a gran escala. A continuación analiza algunas tendencias a largo plazo de esta era, centrándose en concreto en los cambios producidos en la capacidad colectiva para manipular el medio natural. Éstos se ven en el crecimiento demográfico y en unas tecnologías más productivas. Las preguntas básicas que articulan el capítulo son: ¿qué procesos formaron las pautas a largo plazo en el aprendizaje colectivo y la innovación en la era que estamos estudiando? Y ¿qué consecuencias tuvieron estos procesos en las diferentes regiones del mundo?

LAS MACROESTRUCTURAS

Dos rasgos estructurales destacan en esta era. Primero, que las sociedades se diversificaron más que nunca con la aparición de las ciudades y los estados. Y la diversidad, por sí misma, fue un potente motor del aprendizaje colectivo, porque aumentó la disponibilidad general de las posibilidades ecológicas, tecnológicas y organizativas, así como la sinergia potencial de la variada combinación de estas tecnologías. Pero los estados aumentaron además la *escala* de las interacciones humanas. Como eran mucho mayores que las comunidades anteriores, su poderoso

campo gravitatorio succionó recursos, personas e ideas en un amplio radio geográfico. Por este proceso, las civilizaciones agrarias crearon redes de intercambio distintas y más grandes, y éstas representan el segundo rasgo estructural más sobresaliente de esta era. Redes de intercambio que eran más extensas, variadas y dinámicas que todas las anteriores aumentaron a la vez la escala y variedad de los intercambios y la sinergia potencial del aprendizaje colectivo.

Nuevas formas de diversidad

A riesgo de parecer demasiado esquemático, en esta era podemos concebir cuatro modelos principales de sociedad: tres sin estado (cazadores-recolectores, agricultores independientes y pastores) y una con estado (las civilizaciones agrarias).

Los cazadores-recolectores no desaparecieron durante la era de las civilizaciones agrarias; vivían en comunidades pequeñas, por lo general nómadas, y dependían sobre todo de tecnologías sin metales. A pesar de conocer alguna intensificación, Australia estuvo ocupada exclusivamente por cazadores-recolectores hasta hace doscientos años. También en América, en Siberia, en muchos puntos de Asia meridional y del sureste y en ciertas zonas de África vivieron comunidades parecidas hasta hace unos siglos.

En muchas regiones había multitud de agricultores u horticultores que vivían aproximadamente como venían viviendo desde la primera era agraria, sin estructuras de poder a gran escala. La mayor parte de la población de Papúa y Nueva Guinea estuvo formada por comunidades de este género hasta hace unas décadas; a menudo tenían contactos comerciales y a veces enfrentamientos bélicos con agricultores o cazadoresrecolectores de la región, y en ocasiones con comerciantes de Indonesia. Podían encontrarse comunidades agrícolas sin estado en buena parte de África y en ciertas zonas de América. También podían verse en las fronteras de los grandes imperios exactores, desde Manchuria hasta el norte de Alemania.

Allí donde aumentaban la productividad y la población, las comunidades y las tecnologías agrícolas se extendían a territorios escasamente poblados hasta entonces y en consecuencia ponían los cimientos de nuevas regiones de civilización agraria. Por ejemplo, desde mediados del I milenio d. C. se fue instalando en lo que hoy es Rusia una amplia comunidad de agricultores que hablaban mayoritariamente antiguas lenguas eslavas, y allí pusieron los cimientos demográficos de los primeros estados rusos. Estos cambios se han interpretado a menudo, con excesivo simplismo, como consecuencia de migraciones de pueblos enteros que conocían tecnologías más productivas. Por ejemplo, la difusión de las lenguas indoeuropeas desde el norte del mar Negro hasta el Mediterráneo, Irán, Asia central y el norte de la India se ha relacionado con la difusión de la agricultura o el pastoreo. Del mismo modo, la difusión de las lenguas bantú desde el Camerún hasta buena parte de África central y

meridional se ha explicado a menudo como consecuencia de la llegada de pueblos que desplazaron a las comunidades autóctonas porque tenían tecnologías agrícolas más productivas y conocían la transformación del hierro. Las interpretaciones modernas de la difusión de grupos lingüísticos enteros son más complejas, ya que los consideran como resultado de una pluralidad de procesos, por ejemplo las relaciones comerciales y el dominio político o cultural, además de la expansión demográfica, el cambio tecnológico y las migraciones. Sin embargo, la difusión de grupos lingüísticos enteros es un claro indicio de la lenta difusión de tecnologías de diversas clases y más productivas, desde cultivos mejorados, como el del centeno en Europa oriental, hasta herramientas perfeccionadas, como las herraduras y los arados de hierro^[2].

Uno de los movimientos de expansión más extraordinarios, la formación en el Pacífico de una «zona mundial» inexistente hasta entonces, refleja sin lugar a dudas la llegada de olas migratorias. Pero la «Oceanía profunda», las islas exteriores de Micronesia y Polinesia, no fueron colonizadas hasta la aparición de culturas marineras con tecnologías avanzadas de construcción naval y navegación, hace unos 3500 años. Estas poblaciones llegaron seguramente de China meridional o de Formosa, que al parecer fueron la cuna de las lenguas austronesias que hablaban todos estos grupos. Podemos rastrear sus migraciones por el Pacífico gracias a la difusión de una clase especial de alfarería, la llamada vajilla Lapita. Los límites más lejanos de estas migraciones fueron la isla de Pascua (Rapa Nui), colonizada alrededor de 300 d. C., Hawái y Madagascar, colonizadas ambas hacia 500 d. C., y Nueva Zelanda (Aotearoa), colonizada alrededor de 800 d. C. o en 1000-1200 como muy tarde^[3]. Jared Diamond ha señalado que la aparición de estas sociedades isleñas refleja el impacto de los factores ecológicos en el desarrollo social: un par de milenios después ya había en el Pacífico un amplio muestrario de sociedades diferentes que iban desde las comunidades cazadoras-recolectoras, tecnológicamente sencillas, hasta los poderosos protoestados de Hawái y Tonga, que tenían un rígido sistema de clases y una población que oscilaba entre 30 000 y 40 000 habitantes^[4].

La tercera clase de comunidad fue exclusiva de Afroeurasia, ya que básicamente dependía de la explotación de animales domesticados. En muchas regiones áridas de Afroeurasia y en puntos de Siberia septentrional vivían pastores nómadas o seminómadas que cuidaban vacas, ovejas, caballos o renos. Al igual que la mayoría de los agricultores independientes, los pastores solían tener contactos con las civilizaciones agrarias próximas a través de los conflictos armados, el comercio y el intercambio de ideas religiosas y técnicas. Los pastores montados, sobre todo en Eurasia, podían llegar a representar una seria amenaza militar para sus vecinos a causa de su movilidad y de la destreza con que utilizaban los caballos y los camellos en la guerra. Desde finales del I milenio a. C. algunas comunidades de pastores fundaron imperios poderosos en las estepas euroasiáticas, robando a sus ricos vecinos sedentarios. El imperio mayor y más influyente fue el fundado por Gengis Kan, ya en

el siglo XIII d. C.; fue el primer imperio político que se extendió desde el Pacífico hasta el Mediterráneo.

Las comunidades sin estado desempeñaron un papel importantísimo en la era de las civilizaciones agrarias, aunque generaron poco material escrito y en consecuencia han sido desestimadas por los historiadores. Como vivían en tierras situadas entre grandes civilizaciones, a menudo se relacionaban con sus poderosos vecinos para formar redes de intercambio mayores, en particular en Afroeurasia. Aunque las Rutas de la Seda son el ejemplo más claro de este mecanismo^[5], las comunidades sin estado también hicieron de puente entre las incipientes civilizaciones de Mesoamérica y Perú. Las civilizaciones agrarias tendían a estar localizadas, pero las comunidades sin estado que quedaban fuera de su control tenían fronteras más difusas; los contactos entre estas sociedades de distinta naturaleza crearon las redes de intercambio más grandes de todo el mundo premoderno.

Sin embargo, las verdaderas dinamos del cambio en este período fueron las comunidades con estado. Las características de las civilizaciones agrarias fueron su tamaño, su densidad demográfica y su complejidad social. En escala y complejidad estaban muy lejos de todas las comunidades anteriores. Sólo las comunidades mayores de la primera era agraria contenían más de 500 habitantes y casi todas tenían menos de 50. Por el contrario, Uruk, una de las ciudades más antiguas, llegó a tener en su período de esplendor unos 50 000 habitantes. Y esta masa de personas buena parte de cuya alimentación y trabajo dependía de las comunidades rurales cercanas, tenía estrechas relaciones con otras trece ciudades-estado del sur de Mesopotamia y comerciaba en el golfo Pérsico y el Mediterráneo, incluso en el norte de la India y en Asia central. La población total del cúmulo de ciudades-estado del sur de Mesopotamia alcanzó probablemente varios centenares de miles de personas. Esta combinación de poblaciones densas y redes jerárquicas de intercambio que conectaban a cientos de miles o a millones de personas que vivían en comunidades muy diferentes y que desbordaban las fronteras de los gobiernos concretos es uno de los rasgos estructurales más importantes de la era de las civilizaciones agrarias.

En las civilizaciones agrarias siempre hay varios (como mínimo tres) niveles de administración y explotación. En la base estaban los productores primarios, sobre todo los pequeños agricultores y horticultores que vivían en aldeas. Sus comunidades se parecían mucho a las de la primera era agraria y la única diferencia era que ahora tenían encima una jerarquía de gobernantes y exactores de tributos. Las comunidades aldeanas producían alimentos, fibras y combustibles como la madera. Y proporcionaban fuerza de trabajo humana y animal para las empresas a gran escala, como las redes de riego, la construcción de grandes edificios y la guerra. Pero el mundo aldeano estaba todavía determinado sobre todo por las necesidades de la familia agrícola, lo que quiere decir que, en este mundo más que en otros, hombres y mujeres eran socios y compañeros. Por encima de esta esfera, conforme iban adquiriendo importancia las funciones especializadas, los hombres empezaron a tener

papeles separados, por lo general dominantes, y el patriarcado se volvió más institucionalizado.

Por encima de las aldeas había grupos privilegiados y agentes del poder local: jefes, nobles, funcionarios o sacerdotes. Los agentes del poder local obtenían recursos de los productores primarios, pero por lo general preferían no interferir directamente en la vida de los que estaban por debajo de ellos. El resultado fue algo característico de las civilizaciones agrarias, la presencia de una clara brecha, en lo que se refiere a posición social, riqueza, formas de vida y hábitos intelectuales, entre la masa de los productores primarios y los exactores de tributos que estaban por encima de ellos^[6]. Por encima de los agentes del poder local siempre había por lo menos otro nivel, un nivel de ciudades y gobernantes, que vivían de los recursos que entregaban los agentes del poder regional. A veces aparecían niveles de gobernantes que gobernaban sobre otros gobernantes: los «reyes de reyes», por utilizar el título persa.

Por lo tanto, incluso en las civilizaciones agrarias más sencillas eran muchas las clases de comunidad que quedaban atrapadas en las redes políticas, económicas e ideológicas de poder por las que los grupos privilegiados canalizaban los recursos que necesitaban. La canalización de los recursos determinaba tanto la vida de los grupos privilegiados como la de los productores primarios. Y estos métodos llegaban incluso hasta las unidades familiares, que constituyan la base productiva de la sociedad. A pesar de la relativa igualdad reinante en la familia campesina, los varones tendían a reclamar (con desigual resultado) una autoridad refleja que se basaba en el preponderante papel de los varones fuera de las unidades básicas de la familia y la aldea. Las estructuras religiosas, culturales y jurídicas solían apoyar estas exigencias patriarcales.

El medio más eficaz de trasvasar recursos de las unidades familiares a los grupos privilegiados fue la demanda apoyada en una combinación de amenazas religiosas, jurídicas y físicas. Por este motivo, Eric Wolf ha llamado sociedades «de exacción» a las civilizaciones agrarias^[7]. A diferencia de la práctica del regalo, que es la forma característica de intercambiar bienes en las sociedades regidas por el parentesco (y a semejanza del mutualismo en el mundo biológico), la exacción es, por definición, una forma de intercambio desigual. Se parece al parasitismo, una relación en que una parte gana más que la otra y a menudo puede imponerle su voluntad.

Pero, como hemos visto, incluso en las sociedades de exacción sigue habiendo un elemento de reciprocidad o mutualismo. El poder basado en la coacción y el poder basado en el consentimiento pueden coexistir y coexisten en todas las sociedades de exacción. Los productores primarios dependían a menudo de los exactores para la defensa y otros servicios. En tiempo de guerra, los aldeanos se refugiaban tras las murallas de los castillos o las ciudades. En tiempo de paz, los mercados urbanos ofrecían bienes exóticos y formas alternativas de trabajo, y los templos urbanos daban una posibilidad mayor y más grandiosa de hacerse oír por los dioses. Además, a las élites exactoras les interesaba que sus campesinos tuvieran tierra suficiente para vivir

de su trabajo y producir un excedente. En este sentido general, los gobernantes y caciques exactores tenían que proteger el derecho a la tierra de las mayorías campesinas. El resultado fue que, en la práctica (aunque no siempre en teoría), los recursos productivos se distribuyeron en las sociedades agrarias de un modo más uniforme que en el mundo moderno. Más que encarnar la explotación pura, las civilizaciones agrarias representaron una forma de simbiosis compleja aunque desigual, semejante, en ciertos aspectos, a la domesticación. La comparación de William McNeill con el parasitismo, citada en el capítulo 9, reproduce bien los matices de este desequilibrio, porque si los parásitos quieren sobrevivir, tienen que proteger a sus anfitriones, del mismo modo que los humanos tienen que proteger a sus animales domésticos y alimentar a sus esclavos. McNeill, en un trabajo posterior, ha calificado de «acuerdo civilizado» esta relación entre las ciudades y las aldeas que está en la base de todas las civilizaciones agrarias^[8].

Las exacciones existieron no sólo dentro de los estados, sino también entre estados vecinos, y en algunos casos se generaron unas relaciones muy especiales. Los imperios agrarios pueden verse como sistemas exactores en que los estados poderosos recaudan tributos de los menos poderosos. Pero a veces la relación se invertía. A fin de cuentas, los parásitos del mundo biológico pueden ser tan grandes como los cucos y tan pequeños como las bacterias. A semejanza de los terribles cíclidos, que se lanzan sobre otros peces y les arrancan la carne a bocados, los estados pequeños se organizaban a veces en ejércitos peligrosos que podían hostigar a los gigantes hasta tal punto que les obligaban a pagar tributos o cuotas de protección. Los ejemplos más conocidos de estas relaciones son las que se dieron entre los pastores nómadas de los estados euroasiáticos y los grandes estados de China, Persia y el Mediterráneo oriental^[9].

Resumiendo: en todas las civilizaciones agrarias están presentes, con mayor o menor rigor, ciertas estructuras, que son:

- *Comunidades agrícolas* que aportan casi todos los recursos. Están muy separadas de los grupos privilegiados, pero contienen a la mayoría de la población y producen la mayor parte del contingente humano, la comida, la energía y las materias primas.
- *Jerarquías de género* que apoyan el derecho masculino al dominio en casi todos los niveles de la pirámide social.
- *Ciudades y pueblos*.
- *Una compleja división del trabajo* en las ciudades y los pueblos y entre las ciudades y su sector rural.
- *Jerarquías* de funcionarios, jueces y gobernantes sometidos a reyes.
- *Ejércitos*, controlados por gobernantes, que protegen de otros exactores y al mismo tiempo permiten a los gobernantes exigir tributos a sus propios súbditos o a las regiones vecinas.

- *Burocracias alfabetizadas* que inventan y administran recursos.
- *Redes de intercambio* por las que los estados y las ciudades obtienen recursos que no pueden conseguirse por la fuerza.
- *Sistemas de religión e ideología*, administrados frecuentemente por el estado, que legitiman las estructuras estatales y a menudo dan lugar a una arquitectura monumental y a altos niveles de calidad artística.
- *Un extenso sector rural* que no está directamente bajo su control, pero cuyos recursos son vitales para el eficaz funcionamiento del conjunto. Estos sectores rurales pueden estar en otras regiones de civilización agraria o pueden estar poblados por agricultores independientes, o por pastores, o por cazadores-recolectores.

Redes de intercambio

En la era de las civilizaciones agrarias, los intercambios relacionaron entre sí a muchas clases de comunidades con más eficacia y alcance que nunca. Estas complejas redes de intercambio representan la segunda innovación estructural más importante de la era de las civilizaciones agrarias.

Los autores de historias universales han venido percatándose de la importancia de los grandes sistemas de interacción y a menudo los han analizado utilizando la idea de *sistemas mundiales*. Immanuel Wallerstein, el fundador de estas teorías, aducía que en la era moderna sobre todo era necesario analizar no ya países o civilizaciones concretos, sino las redes mayores de poder y comercio en que estaban inmersos, porque estas redes explicaban rasgos que no podían explicarse desde la historia interna de las regiones concretas. Wallerstein llamaba «sistemas-mundiales» a estas redes, aunque no abarcaban literalmente el mundo entero, alegando que en muchos aspectos funcionaban como mundos separados. Los sistemas mundiales son estructuras estratificadas y multirregionales que integran comunidades de muchas clases; en su interior, unas regiones son más influyentes que otras.

Wallerstein se centró en el sistema mundial capitalista, de comienzos de la época moderna, que estuvo dominado por los estados europeos. En realidad fue el primer sistema mundial verdadero que hubo en la historia. Para comprender el creciente poder de Europa en aquel período, los historiadores, siempre según Wallerstein, tenían que saber cómo estaba inmersa Europa en redes de poder y comercio que abarcaban grandes zonas del planeta y cómo se beneficiaba de ellas. Basándose en la idea de Wallerstein, otros historiadores han identificado sistemas parecidos en épocas anteriores. Janet Abu-Lughod afirma que en el siglo XIII hubo un sistema mundial que abarcaba Eurasia, y André Gunder-Frank, Barry Gills y otros sostienen que ya en el III milenio a. C. podrían haber existido «sistemas mundiales» (en un sentido amplio) a escala regional^[10]. Christopher Chase-Dunn y Thomas D. Hall han ido más

lejos aduciendo que en todas las zonas del mundo, incluso en regiones sin estados, existieron redes de intercambio por lo menos con algunos rasgos de los sistemas mundiales^[11].

Estas grandes redes señalan las fronteras dentro de las cuales las comunidades humanas pueden compartir información, tecnologías y adaptaciones. Así condicionan los procesos de aprendizaje colectivo a escalas muy grandes y determinan el ritmo y la geografía de las innovaciones durante períodos muy largos. Una de las más importantes aportaciones de las últimas teorías de los sistemas mundiales es que hay varias clases de redes que funcionan de diferente manera y a escala diferente. Michael Mann sostiene que incluso los estados, que parecen claramente delimitados, en realidad ejercen varias clases de poder que funcionan de diferente modo, como diferentes campos de fuerza^[12]. Ha identificado cuatro «redes» de poder e influencia: la ideológica, la económica, la militar y la política. El poder político suele estar limitado por fronteras reconocidas. El poder militar, por el contrario, puede rebasar estas fronteras y llegar hasta donde lo permiten las tecnologías logísticas y militares vigentes. Así, los generales chinos del período Han tenían una idea bastante clara de las dimensiones del ejército que podían enviar a las estepas mongolas y hasta cuándo podían estar en campaña sin gastos excesivos. El poder ideológico es más difuso, porque las fronteras culturales de una región como China son difíciles de concretar, y el poder económico es aún más difícil de precisar. Así pues, las redes económicas e informativas tendían a ser mayores y menos rígidas que las controladas directamente por la fuerza.

Basándose en estas observaciones, Chase-Dunn y Hall han sugerido que hay varias clases de redes de intercambio, cada una con sus características y un radio de acción peculiar. Las principales clases que identifican son las redes de mercancías al por mayor, las redes de bienes de prestigio, las redes político-militares y las redes de información^[13]. La mayor o menor facilidad de transporte de las mercancías determina el alcance de las redes. Hasta hace poco, las mercancías al por mayor, como el cereal, eran de transporte difícil y caro, así que por lo general recorrían distancias cortas. Los ejércitos podían desplazarse más lejos, pero con toda la impedimenta que llevaban, tenían que avanzar despacio. Sin embargo, los bienes de prestigio como la seda eran más fáciles de transportar y recorrían distancias más largas, y la información se desplazaba con más facilidad aún. Tal es la razón por la que los intercambios de información y de bienes de prestigio generaron las redes más grandes y antiguas. (En realidad, los artículos de prestigio pueden llegar con frecuencia más lejos que la información. Pensemos en los ornamentos que se intercambian tantas veces que el significado original se olvida). Y es la razón por la que me he centrado aquí en las redes de intercambio más grandes, las redes de información que abarcaban zonas mundiales enteras.

Las redes grandes de intercambio tienen una «topología» regional característica. Tal vez sea útil recordar el símil de la ley de la gravedad social. En virtud de esta ley

imaginaria, las comunidades humanas atraen a otras comunidades, con los bienes, las ideas y las personas que contienen. Conforme crecen las comunidades, aumenta la atracción que se ejerce. A grandes rasgos (y con un sorprendente parecido con la ley de Newton), la magnitud de la atracción gravitatoria entre comunidades es directamente proporcional a su tamaño e inversamente proporcional a la distancia que las separa.

En el Paleolítico, los intercambios eran limitados y se producían a pequeña escala, porque ningún grupo tenía tamaño suficiente para ejercer una atracción importante sobre otros grupos. Pero al aparecer comunidades más amplias, unas intercambiaron bienes e información más aprisa que otras, y cubriendo distancias mayores, porque las comunidades grandes podían atraer recursos y material humano de un área muy vasta. Los intercambios de información, bienes y personas alcanzaban el máximo dinamismo allí donde había muchas comunidades grandes. En estas regiones se acumulaba más información y mercancías que en ningún otro lugar, de modo que podemos denominarlas *centros de gravedad*. Absorbían personas, ideas y productos de grandes sectores rurales. Pero también ejercían una fuerte atracción sobre las regiones menos densamente pobladas que había entre ellos. Para entender cómo funcionaba esta influencia tenemos que imaginar una forma de gravitación más moderna, más einsteiniana, en la que los cuerpos grandes deforman el espacio-tiempo que les rodea, inclinándolo y enroscándolo hasta el extremo de alterar la conducta y el movimiento de los objetos menores que hay dentro de su campo gravitatorio. Las ciudades grandes y los estados transformaban la topología social de las regiones intermedias y a veces creaban de este modo lo que podemos denominar *regiones axiales*. Las regiones axiales estaban localizadas entre centros regionales de gravedad. Estos «pasillos gravitatorios», situados en la intersección de varios campos gravitatorios, estaban sometidos a la atracción de centros diversos. Estuvieran densamente pobladas o no, las regiones axiales veían pasar mucho tráfico (véase la figura 10.1).

Una ojeada al mapa del mundo sugiere inmediatamente que Mesoamérica y el corredor que une Mesopotamia y Egipto tuvieron que ser regiones axiales, porque eran puentes entre zonas grandes y variadas. Ciertas regiones, como la Europa del siglo XIX o la Mesopotamia abasí, podrían considerarse por igual regiones axiales y centros de gravedad. Atraían información y bienes a causa de su situación y porque contenían una población densa y rica. Otras regiones, como la China de finales del siglo XIX d. C., valen como centros de gravedad, pero no como ejes; y al contrario, regiones como la Atenas del siglo V a. C., Asia central en 2000 a. C. o Mongolia en el siglo XIII d. C., son válidas como ejes, aunque no tenían población suficiente para ser centros de gravedad. Tanto los centros de gravedad como las regiones axiales influyeron poderosamente en el cambio, ya que el volumen de las mercancías que pasaban por ellos los convirtió en centros de intercambio de información acumulada en muchos kilómetros a la redonda. Sin embargo, la diferencia entre ambos tipos de

centro no dejó de tener consecuencias. Los centros de gravedad dieron estructura y forma a las grandes redes de intercambio, mientras que las regiones axiales tenían menos peso y se dejaban transformar más fácilmente por el material intercambiable que circulaba por ellas. Por este motivo las innovaciones significativas solían adquirir importancia primero en las regiones axiales, porque era en ellas donde podían tener mayor impacto, mientras que la masa y la aceleración de los centros de gravedad hacían que éstos cambiaran por lo general más lentamente.

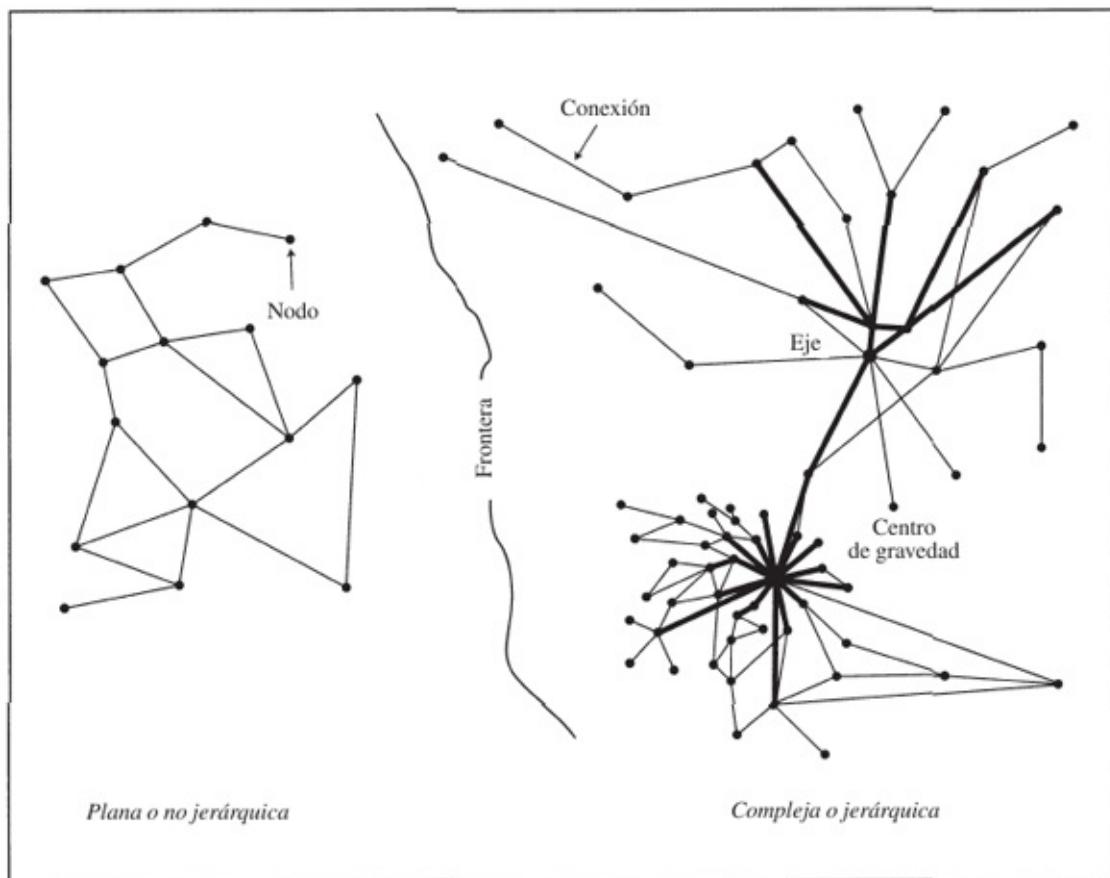


FIGURA 10.1. Modelos de redes de intercambio. Por lo que sabemos, todas las redes de intercambio del Paleolítico fueron «planas» o «no jerárquicas». Esto quiere decir que la densidad de una región se diferenciaba poco de la de otra, y que había poca variedad en el ritmo y el volumen de los intercambios. Con la aparición de las poblaciones agrícolas densas, las redes se volvieron más complejas y jerárquicas, y aparecieron regiones en las que los intercambios de información fueron tan intensivos que el ritmo del «aprendizaje colectivo» se aceleró notablemente. En consecuencia, el ritmo de las innovaciones fue mucho más rápido en el Holoceno que en el Paleolítico.

La escala, diversidad y complejidad crecientes de las redes de intercambio fomentaron procesos de aprendizaje colectivo en territorios muy amplios y explican en parte el peculiar dinamismo tecnológico, político y cultural de la era de las civilizaciones agrarias.

TENDENCIAS A LARGO PLAZO

Alcance y poder crecientes de las civilizaciones agrarias

En 3000 a. C., las civilizaciones agrarias de la Mesopotamia meridional y el valle del Nilo eran excepcionales; a pesar de su elevada población, ésta representaba una parte minúscula de la población humana del planeta. Casi toda la población mundial vivía aún en comunidades sin estado. Cuatro mil años después, en 1000 d. C., las civilizaciones agrarias no abarcaban todavía ni siquiera la quinta parte de la superficie terrestre, aunque en casi todos los demás aspectos eran las comunidades dominantes a nivel mundial. Podían encontrarse en muchas zonas de Afroeurasia y en algunas de América. Incluso en el Pacífico había ya pequeños protoestados (véase la tabla 10.1).

¿Por qué y cómo adquirieron las civilizaciones agrarias semejante preponderancia? No podían aparecer allí donde no existía aún la densidad demográfica rural que se necesitaba para sostenerlas. Así pues, la difusión de las civilizaciones agrarias estuvo estrechamente relacionada con la difusión de la agricultura, y ésta, como ya hemos visto, dependía de las innovaciones tecnológicas que capacitaban a los agricultores para cultivar entornos de variedad creciente. Las tendencias de las innovaciones que describo en la segunda mitad de este capítulo son la clave para entender los cambios descritos en la primera. Esta sección analizará las principales etapas de la difusión de las civilizaciones agrarias en el curso de 4000 años.

En 3000 a. C. sólo había civilizaciones agrarias en Mesopotamia y en Egipto. En 2000 a. C. habían aparecido ya ciudades-estado en Sudán (la poderosa ciudad-estado de Yam o Kerma) y se habían difundido más extensamente en Mesopotamia. En el reinado de Sargón de Acad (que gobernó alrededor de 50 años desde 2350 a. C. aproximadamente) tenemos el primer testimonio de que se abre una nueva etapa en la formación del estado: la aparición de un estado que gobierna sobre varias ciudades-estado con su correspondiente sector rural^[14]. Sargón afirmaba que alimentaba diariamente a 5400 hombres, una cifra que da cuenta del tamaño de su séquito^[15]. Con lo que tal vez fuera el primer ejército permanente de la historia, derrotó a las ciudades-estado rivales. Pero en vez de limitarse a imponerles tributos, las incorporó a su imperio, destruyendo sus murallas y nombrando gobernadores (*ensi*) a sus propios hijos. Además financió redes comerciales que por un lado cruzaban toda Mesopotamia y llegaban a Asia central y al valle del Indo, y por el otro cruzaban Egipto y alcanzaban el África subsahariana. Mesopotamia fue el eje principal de estas redes; y gracias a la densidad demográfica y a la escala del poder político del régimen de Acad, probablemente fue además el primer centro de gravedad que se formó en una red regional de intercambio.

TABLA 10.1. CRONOLOGÍA DE LAS PRIMERAS CIVILIZACIONES AGRARIAS.

<i>Fecha</i>	<i>Acontecimiento</i>
c. 3200 a.C.	Primeros estados en Sumer
c. 3000 a.C.	Primeros estados en Egipto
c. 2500 a.C.	Primeros estados en N. India/Pakistán (desap. en II milenio)
c. 2200 a.C.	Primeros estados territoriales/imperios en Mesopotamia
c. 2000 a.C.	Primeros estados en N. China (río Amarillo)
c. 1000 a.C.	Reaparecen estados en N. India/Ganges
c. 500 a.C.	Primeros estados en sureste asiático
c. 500 a.C.	Primer «imperio secundario» en Persia
c. 500 a.C.	Primeros estados en Mesoamérica
c. 500 a.C.	Primeros estados territoriales/imperios en Mesoamérica
c. 600 d.C.	Primeros estados en África subsahariana
c. 1400 d.C.	Primeros imperios secundarios en Mesoamérica/S. América

Por una descripción de la capital de Acad (Acad, Akkad o Agadé) que se remonta al comienzo del II milenio podemos hacernos una idea de lo que significaba estar en el centro de estas vastas redes de intercambio, donde la riqueza y la información se acumulaban en grandes cantidades:

En aquellos días, las viviendas de Acad estaban llenas de oro, sus resplandecientes edificios estaban llenos de plata, a sus graneros llevaban cobre, estaño, bloques de lapislázuli, y sus silos se abombaban [¿?] por los lados [...] había bullicio en los muelles donde atracaban los barcos [...] sus murallas se elevaban hacia el cielo como una montaña [...] las puertas: como el Tigris desaguando su caudal en el mar, la sagrada Inanna abría sus puertas^[16].

En 2000 a. C. también había ya civilizaciones agrarias en Creta y entre los hititas de Anatolia. En el noroeste de la península indostánica, siguiendo el curso del Indo, apareció una civilización inequívocamente agrícola a finales del III milenio. La civilización harappá, como la de Sumer, se fundó con la riqueza y el poder de una serie de ciudades grandes, alimentadas con agricultura de regadío, en una árida llanura aluvial. Tenía contactos comerciales y culturales con Asia central y Sumer, pero sus sistemas de escritura y sus estilos artísticos, como los de Egipto, parecen totalmente originales. Así pues, no es descabellado suponer que Harappá fue un eje regional entre otros, en un sistema mundial que abarcaba además las civilizaciones agrarias del Mediterráneo oriental^[17]. La civilización de Harappá decayó en la primera mitad del II milenio. Su caída pudo deberse a las invasiones procedentes del

norte, o a problemas ecológicos derivados del riego excesivo, o a modificaciones de los ríos a cuyas orillas se fundó.

Durante el II milenio, el centro de gravedad de las civilizaciones mesopotámicas pasó del norte a Babilonia y, con el paso del tiempo, a Asiria. La atracción gravitatoria que ejercía Babilonia la convirtió en una de las primeras ciudades más grandes que se conocen, con una población que probablemente superaba los 200 000 habitantes^[18]. Hammurabi fundó allí un estado imperial alrededor de 1792 a. C. Su código jurídico, con sus 282 leyes esculpidas en 49 columnas de basalto, es el primer testimonio escrito que describe detalladamente estructuras jurídicas y administrativas (véase la figura 10.2). Mientras tanto, las crecientes redes comerciales del Mediterráneo difundieron las tecnologías y los estilos de las civilizaciones de Mesopotamia y Egipto por todo el litoral mediterráneo. En esta zona en expansión estaba el mundo egeo de los poemas homéricos. Las redes comerciales egipcias también se expandieron hacia Sudán y el África subsahariana. De este modo se formó una sola región de intercambio que abarcaba Mesopotamia, buena parte del litoral mediterráneo, ciertas zonas del África subsahariana, Asia central y puntos de la península indostánica.

Este sistema de intercambios, con el centro de gravedad en Mesopotamia pero con conexiones con regiones axiales de Egipto y Sudán, Asia central y el norte de la India, fue la red más grande de la zona mundial afroeuroasiática; esta zona, a su vez, fue la región interconectada más grande del planeta. Por este motivo, en teoría por lo menos, habría sido de esperar que en dicha zona los procesos de aprendizaje colectivo fueran más intensos y las innovaciones más rápidas. Que Mesopotamia estuviera en el eje de las redes afroeuroasiáticas de intercambio podría explicar el papel tan importante que desempeñó esta región en la historia de Afroeurasia y en la historia del mundo en general, desde los primeros momentos de la formación del estado hasta que los cambios decisivos que se produjeron en los últimos 500 años la desplazaron de su posición central.



FIGURA 10.2. Código de Hammurabi (siglo VIII a. C.). Hammurabi gobernó Babilonia aproximadamente entre 1792 a. C. y 1750 a. C. Fue el primer gobernante cuya legislación conocemos detalladamente. En 1901, los arqueólogos franceses descubrieron una columna de basalto de dos metros de altura con las leyes de Hammurabi grabadas en ella; en la actualidad está en el Louvre. En este fragmento de la columna vemos al dios sol entregando a Hammurabi el bastón y el anillo de la autoridad. © Erich Lessing/Art Resource, N. Y.

Pero Mesopotamia no fue en ningún momento el único centro de gravedad, ni siquiera en la zona afroeuroasiática. En China, siguiendo el curso del río Amarillo, aparecieron civilizaciones agrarias durante el II milenio a. C. Hay testimonios arqueológicos y escritos de que en 1600 a. C. había un complejo regional de ciudades-estado en guerra que abarcaba buena parte del norte y el oeste de China, y que por el sur llegaba hasta el Yangtsé. Unas tenían gobernantes ricos y poderosos y otras una burocracia alfabetizada. An-yang pasó a ser en el siglo XIV a. C. un importante centro ceremonial de la semilegendaria dinastía Shang, que reivindicaba el derecho a mandar sobre muchas ciudades-estado subalternas. La investigación moderna da a entender que los historiadores podrían haber exagerado la autoridad que ejercían los gobernantes Shang en otras regiones, ya que sus registros son los únicos que han llegado hasta nosotros. Sin embargo, los reyes Shang capitanearon ejércitos de hasta 13 000 hombres, que eran pertrechados con armas fabricadas en serie y artículos de vestir de las manufacturas del estado. Además construyeron tumbas grandiosas y complejas en las que a menudo se ofrecían sacrificios humanos. La dinastía Chen, que gobernó aproximadamente entre 1050 a. C. y 221 a. C., fue responsable del primer período de unidad informal; en los siglos posteriores China septentrional estuvo a merced de más de un centenar de reinos independientes de

diverso tamaño que estaban sometidos a un grupo de siete grandes «estados centrales», los *yongguo*, los siete situados cerca del río Amarillo. China septentrional renació en el I milenio a. C. como segundo gran centro de gravedad de la zona mundial afroeuroasiática. Ya estaban puestos los cimientos demográficos, tecnológicos y administrativos para que apareciesen el imperio Qin y el primer imperio Han (221-207 a. C. y 207-8 a. C., respectivamente), y así se establecieron las bases tecnológicas, artísticas e intelectuales de la civilización china tradicional.

¿Estuvo el sistema mundial chino totalmente aislado de los del norte de la India y Mesopotamia? La aparición, desde 4000 a. C. aproximadamente, de culturas móviles, de pastoreo, que se integraron en sistemas de intercambio que llegaban hasta las estepas interiores de Eurasia pone de manifiesto que como mínimo hubo contactos indirectos entre todas las regiones de Eurasia durante toda la era de las civilizaciones agrarias^[19]. Sabemos que durante el II y III milenios se difundieron por las estepas idiomas, tecnologías (como la rueda y el carro de guerra), formas de vida (entre ellas las tecnologías básicas del pastoreo mismo) y quizás métodos para trabajar el bronce, además de cultivos y productos mayoritarios como el trigo y la cebada (hacia el este), y pollos y panizo (hacia el oeste). La aparición, en 2000 a. C., de otra región axial en la civilización de «Oxus» (una constelación de ciudades-estado comerciales de Asia central, con contactos con Sumer y China y con el norte de la India) da a entender que estos intercambios ya eran importantes hace 4000 años, porque Asia central es el eje natural de los intercambios transeuroasiáticos. Sigue abierta al debate la cuestión de si los intercambios transeuroasiáticos fueron suficientemente significativos para justificar la afirmación de que hacia 2000 a. C. había un solo sistema afroeuroasiático^[20]. Podemos estar seguros, sin embargo, de que por entonces y en toda Eurasia, ninguna región de civilización agraria estaba totalmente aislada de otras regiones.

Durante el I milenio a. C., el poder y alcance de los imperios agrarios de Afroeurasia aumentaron de manera decisiva. El imperio asirio, con base en el norte de Mesopotamia, dominó esta región entre los siglos X y VII. El imperio aqueménida, fundado en el siglo VI por Ciro el Grande, fue mucho mayor que ningún imperio agrario anterior. Su localización en Persia, en el centro de redes de intercambio que iban de África a la India, Asia central y China, probablemente explica la inagotable importancia de Persia y Mesopotamia en la historia afroeuroasiática. Pero la aridez de gran parte del suelo persa explica también que esta región desde siempre desempeñara más el papel de eje que el de centro de gravedad.

A la sombra de estos grandes imperios, las civilizaciones agrarias se difundieron por el Mediterráneo y Egipto hasta llegar a lo que hoy son Sudán y Etiopía. Estas nuevas regiones de civilización agraria fueron los cimientos de los imperios griego, cartaginés, romano y sudanés. Al principio, las incipientes regiones de civilización agraria consistían en pequeños estados rivales, muchos de los cuales se dedicaban tanto al comercio como a la conquista. Pero, con el paso del tiempo, algunas de estas

regiones axiales locales pasaron a ser también centros de gravedad. Las asombrosas conquistas de Alejandro Magno, entre 334 y 323 a. C., crearon un imperio inmenso aunque efímero que abarcaba Grecia, todo el imperio persa y gran parte de Asia central y del norte de la India. El imperio de Alejandro abarcaba toda la región axial de las grandes redes de intercambio de Afroeurasia. Conforme declinaba fueron apareciendo dinastías regionales, marcadas por el helenismo, en Persia, Egipto y Asia central, y en el extremo occidental, en Italia y el norte de África. La difusión de las civilizaciones agrarias por el litoral mediterráneo puso los cimientos de otro sistema imperial, el de Roma. La expansión romana fuera de Italia comenzó con la conquista de Sicilia en 241 a. C. y con los ochenta años de guerras púnicas (264-146 a. C.) entre Roma y Cartago, otro eje regional. En su momento de máximo esplendor, antes de dividirse a finales del siglo IV d. C., el imperio romano controlaba casi toda la cuenca mediterránea y tenía grandes colonias en las regiones agrarias de Europa.

Durante la primera mitad del I milenio a. C., estimuladas en parte por los contactos con el mundo mediterráneo, las civilizaciones agrarias reaparecieron en el norte de la India, sobre todo en las tierras arroceras del Ganges. Allí se formaron importantes ejes regionales y al final un centro regional de gravedad. El mayor imperio indostánico del I milenio a. C., el de los Maurya (hacia 320-185 a. C.), controló casi todo el continente; tuvieron que pasar siglos para que hubiera otro gobernante que controlara individualmente tanto territorio como el emperador Ashoka (reinó en 268-233 a. C.). Sin embargo, la formación de civilizaciones densamente pobladas en la India creó otro centro de gravedad que fomentó la aparición de más redes de intercambio por los mares del sur desde finales del I milenio a. C. Como ha señalado Lynda Shaffer, las exportaciones indostánicas de algodón y azúcar cristalizado, el control indostánico del comercio con oro indonesio y especias de las Molucas y la influencia de las religiones (en especial el budismo) y las matemáticas de la India abarcaron un largo arco que iba desde el este de África hasta el sur de China. Shaffer ha calificado este proceso de «meridionalización», un neologismo basado en el más conocido término de *occidentalización*^[21].

A finales del I milenio a. C., las civilizaciones agrarias del este, el sur y el oeste de Eurasia estuvieron más estrechamente relacionadas que nunca. Dos fenómenos vinieron a estrechar los lazos de varios centros euroasiáticos de gravedad que formaron un sistema de intercambio que abarcaba toda Eurasia. El primero fue el aumento radical de la circulación por las Rutas de la Seda cuando los reyes aqueménidas de Persia extendieron su influencia a Asia central, en el siglo VI, y cuando, ya a principios del siglo I, el gobierno chino conquistó Sinkiang y fomentó el comercio con la India, Persia y el Mediterráneo. El segundo fenómeno fue la expansión del comercio marítimo entre el suroeste de Asia, la India y el sureste asiático, cuando los marineros aprendieron a aprovechar los monzones. Estas transformaciones multiplicaron los intercambios de artículos comerciales, ideas

religiosas y tecnológicas e incluso enfermedades por toda la masa continental afroeuroasiática. La aparición, en el sur de Egipto, del poderoso estado de Kush (en el Sudán actual), que durante un tiempo tuvo fuerza suficiente para dominar casi todo Egipto (712-664 a. C.), representa una importante etapa en la integración de ciertas áreas del África subsahariana en estas redes mayores.

En el I milenio d. C., las redes afroeuroasiáticas quedaron bajo el dominio de las civilizaciones agrarias del Mediterráneo (con Roma y Bizancio como capitales), de Mesopotamia o Persia (los imperios de los partos, los sasánidas y los abasíes), la India y China (dinastías Han, Tang y Song). Las más influyentes de todas fueron quizás las que formaban la región axial de Mesopotamia y Persia, sobre todo en la época islámica, en que Mesopotamia volvió a ser un centro de intercambio de mercancías, de ideas tecnológicas que iban desde la vela latina hasta la fabricación del papel, pasando por el número «0» y por nuevos cultivos, y de ideas religiosas nuevas que aglutinaban elementos de diversas regiones de Afroeurasia. Pero cabe la posibilidad de que la península indostánica desempeñara en estos intercambios un papel mayor del que normalmente se le adjudica, sobre todo a causa de la progresiva importancia del comercio marítimo con África oriental hasta el Mediterráneo y con el sureste asiático hasta China. Como ha señalado Shaffer, el mundo islámico heredó las tradiciones intelectuales y tecnológicas del mundo mediterráneo y de la península indostánica, mientras que muchos rasgos significativos de la historia religiosa, comercial y tecnológica de la China Tang y Song, desde la importación del budismo hasta el empleo del «0» en matemáticas, pasando por la introducción del arroz de Champa, podrían reflejar influencias indias^[22]. Durante este período aparecieron civilizaciones agrarias en otras cuatro regiones del continente afroeuroasiático: el sur de China, el sureste asiático, el África subsahariana y Europa. La densa población agrícola de estas regiones plantó las raíces demográficas de las que surgieron ciudades y estados y con las que civilizaciones ya existentes fundaron imperios coloniales.

En el sur de Egipto, el estado sudanés de Kush fue sustituido, en el siglo III d. C., por el estado etíope de Axum, cerca del mar Rojo, que controlaba muchas rutas comerciales que unían Arabia con el África subsahariana y la India con el Mediterráneo^[23]. Axum se convirtió al cristianismo en el siglo VI. Las áridas tierras saharianas del África occidental empezaron a hacer de puente entre el Mediterráneo y el África subsahariana, aproximadamente como las estepas euroasiáticas mediaban entre el mundo mediterráneo y China. A principios del I milenio d. C. aparecieron los camellos en el Sahara, y desde el siglo III los mercaderes y pastores montados en camello, como los antepasados de los tuareg, vincularon el África subsahariana con las redes comerciales mediterráneas, transportando al norte el oro y el cobre del África occidental (y a veces los esclavos locales). La riqueza de estas redes comerciales precipitó la aparición de ciudades y estados en regiones ya colonizadas por agricultores que vivían básicamente del sorgo, del panizo y ocasionalmente del

arroz. El imperio de Wagadu, capitaneado por un gobernante llamado Ghana, cristalizó como eje regional mucho antes del siglo IX d. C. en las fronteras de lo que hoy son Mali y Mauritania. A mediados del siglo IX se fundó el imperio comercial de Kanem, al norte del lago Chad. La dinastía gobernante, la de los Sayf, duró mil años.

Allí donde aparecen nuevas regiones de civilización agraria suele ser fácil detectar la influencia de los centros de gravedad más cercanos: la del norte de China en China meridional y Vietnam, la de la India en el sureste asiático, la mediterránea y la mesopotámica (luego islámica) en el África subsahariana, la romana en la Europa occidental y la bizantina en la oriental. Estas influencias se ven con la máxima claridad en el sur de China, cuya población se expandió por una región controlada por dinastías procedentes de la China septentrional. Mientras que en el norte de China, en el año 1 d. C., vivían más de las tres cuartas partes de la población del imperio, en 1300 vivía menos de la cuarta parte. En el extremo occidental del continente euroasiático se produjo un desplazamiento parecido, pero esta vez hacia el norte, hacia el interior de Europa.

Muchas regiones siguieron oponiendo resistencia a la difusión de las civilizaciones agrarias. Donde no se daban los requisitos tecnológicos y ecológicos para que se condensara la demografía, las comunidades tradicionales duraban mucho más, como se ve perfectamente en las áreas (como las estepas euroasiáticas) donde no se difundió la civilización agraria porque no había una población agrícola densa^[24]. En las tierras que luego se llamaron Rus y más tarde se integraron en el imperio de Moscova, la agricultura sólo se había practicado en unas cuantas regiones, por ejemplo en la actual Ucrania, desde los tiempos de la primera era agraria. El severo clima de la región y la presencia de pastores belicosos impidió la formación de poblaciones agrícolas con densidad suficiente para alimentar ciudades o estados. Antes bien, las comunidades agrícolas siguieron siendo débiles y estando aisladas, características que aprovechaban los exactores como los escitas, tan estupendamente descritos por Heródoto. Luego, desde mediados del I milenio d. C. en adelante, los nuevos cultivos (como el centeno), el uso de arados metálicos y la superpoblación estimularon las migraciones de los europeos del este hacia los Urales. Como en África occidental, la densidad demográfica atrajo a los comerciantes de otras zonas. Éstos llegaban de las estepas euroasiáticas o del Báltico y comerciaban con Asia central y Bizancio. Crearon una serie de estados regionales, el primero de los cuales fue el imperio jásaro, cuya capital estaba al norte del mar Caspio. A lo largo de las rutas que unían el Báltico con Bizancio surgieron pequeñas ciudades-estado que se agruparon bajo una sola dinastía en el siglo X y crearon la formidable potencia de la Rus de Kíev. Dadas sus tempranas relaciones comerciales con Asia central y Bagdad, la Rus de Kíev habría podido fácilmente convertirse al islam y formar parte integral del mundo islámico. Pero en 988 el gran príncipe Vladimiro (al que hemos mencionado en el capítulo 9) se convirtió al cristianismo ortodoxo; desde entonces,

Rus y los estados que la sucedieron pertenecieron, por lo menos culturalmente, al mundo cristiano.

Exceptuando el frustrado intento de los vikingos por colonizar Terranova hacia 1000 d. C., no hubo contactos apreciables entre Eurasia y América hasta el siglo XVI, motivo más que suficiente para tratar el continente americano como una zona mundial con características propias^[25]. Sin embargo, también en América se expandieron las civilizaciones agrarias, entraron en contacto y al final crearon sistemas mundiales embrionarios. En Mesoamérica, como ya hemos visto, las primeras civilizaciones agrarias aparecieron entre los olmecas a mediados del II milenio a. C., aunque algunos estudiosos replicarían que los olmecas no crearon auténticos estados. Sin embargo, dejaron una herencia patente en las tradiciones culturales de todas las civilizaciones mesoamericanas posteriores. En efecto, los verdaderos estados aparecieron a mediados del I milenio a. C., pero hubo que esperar hasta mediados del I milenio d. C. para que surgieran estados imperiales, con sede situada más al norte, en México. La historia de Teotihuacán pone de manifiesto la rapidez con que podían aparecer grandes estructuras imperiales cuando se contaba con los cimientos apropiados. También nos recuerda cuán frágiles podían llegar a ser los primeros estados. Teotihuacán, situada a unos 50 kilómetros al norte de la actual Ciudad de México, no pasaba de ser un grupo de pequeñas aldeas en 500 a. C. Desde 150 a. C. creció rápidamente. Tres siglos más tarde tenía entre 60 000 y 80 000 habitantes. Este desarrollo (como el de la anatolia Çatal Hüyük, que había florecido seis milenios antes) pudo deberse al comercio de la obsidiana, el equivalente premetálico del acero. En su período de máximo esplendor, Teotihuacán tenía una población que oscilaba entre 100 000 y 200 000 habitantes, y la grandeza de su arquitectura monumental no tenía nada que envidiar a los mejores ejemplos afroeuroasiáticos (véase la figura 10.3^[26]). Teotihuacán se alimentaba de una red de aldeas y pueblos cercanos que utilizaban la agricultura de regadío y sistemas de *chinampas* (que se describen más adelante). Pero dependía asimismo de comestibles que llegaban a través de grandes redes comerciales que formaban un sistema mundial mesoamericano. De modo que se le puede considerar eje regional y quizá también el primer centro americano de gravedad. Teotihuacán se vino abajo entre 600 y 700 d. C. Es posible que la explotación excesiva de la tierra, causada por el rápido crecimiento demográfico, destruyera la ecología de la región, o que las ciudades rivales obstruyeran las redes comerciales que la abastecían, o que invadiieran y saquearan la ciudad. Antes de que transcurriera medio siglo sólo quedaba ya un puñado de aldeas. Una fuente de la época colonial cuenta que los dirigentes de la ciudad huyeron y se llevaron «los escritos, los libros, las pinturas; se llevaron toda la artesanía, las fundiciones de metales^[27]».

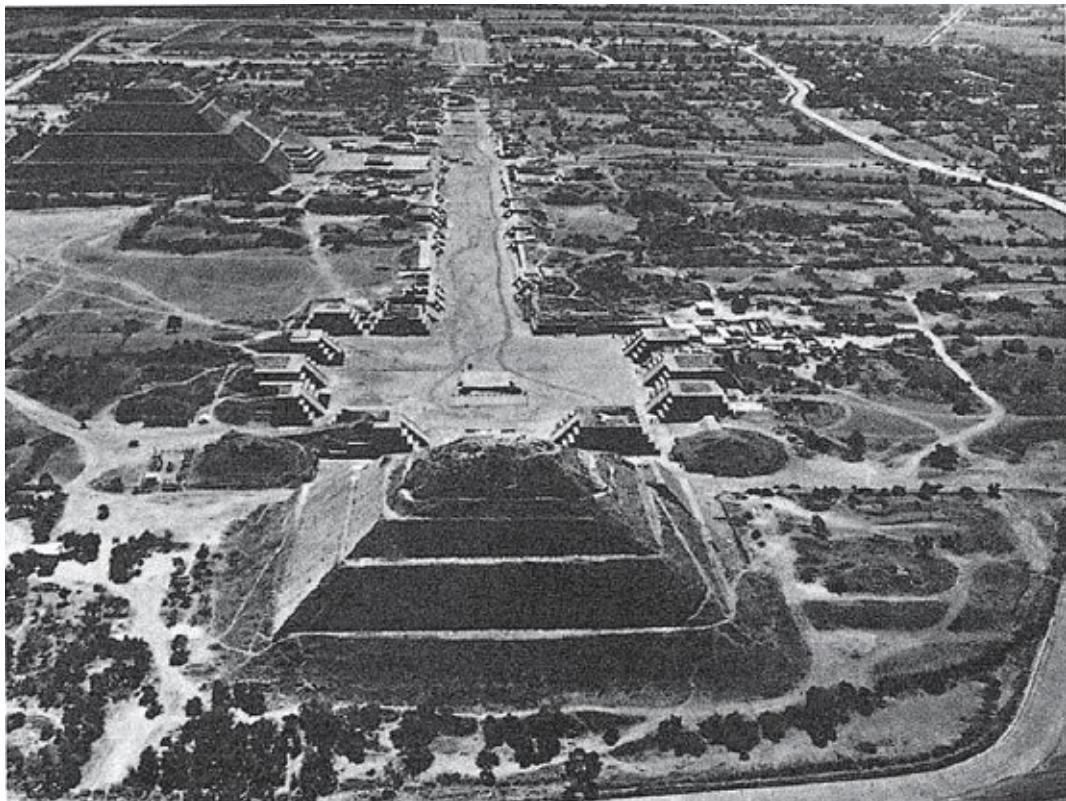


FIGURA 10.3. Teotihuacán. La gran ciudad-estado de Teotihuacán, a 40 km de Ciudad de México, floreció aproximadamente entre 200 a. C. y 650 d. C. Parece que en su momento de más auge llegó a tener 200 000 habitantes, lo que la situaba entre las mayores ciudades del mundo. Era ciertamente la más grande y poderosa de América. Tuvo contactos con muchos puntos de Mesoamérica y sus tradiciones políticas influyeron en estados mesoamericanos posteriores, como el de los aztecas. Según Brian M. Fagan, *People of the Earth: An Introduction to World Prehistory*, HarperCollins, Nueva York, 1992⁷, p. 574, tomado de René Millon, ed., *Urbanization at Teotihuacán, Mexico*, parte 1, vol. 1, University of Texas Press, Austin, 1973. © René Millon.

Entre los mayas, que eran de la misma época y vivían más al sur, en la península de Yucatán, había centros regionales integrados en las mismas redes de intercambio que Teotihuacán. Decayeron aproximadamente al mismo tiempo, seguramente a causa de la superpoblación, tal vez relacionada con los cambios climáticos que socavaban la fertilidad de las tierras de labor regionales. Desde finales del I milenio se intensificaron en México central la expansión urbana y la construcción del estado. Este proceso concluyó con la creación del imperio azteca, ya en el siglo xv. Su capital, Tenochtitlan, tenía entre 200 000 y 300 000 habitantes en 1519, y otras ciudades del valle de México eran casi tan grandes. He aquí cómo Bernal Díaz del Castillo, soldado de Cortés, describió su primera impresión de Tenochtitlan en 1519.

Y otro día por la mañana llegamos a la calzada ancha y vamos camino de Estapalapa. Y desque vimos tantas ciudades y villas pobladas en el agua, y en tierra firme otras grandes poblazones, y aquella calzada tan derecha y por nivel como iba a Méjico, nos quedamos admirados, y decíamos que parecía a las cosas de encantamiento que cuentan en el libro de Amadís, por las grandes torres y cues y edificios que tenían dentro en el agua, y todos de calicanto, y aun algunos de nuestros soldados decían que si aquello que vían, si era entre sueños, y no es de maravillar que yo lo describa aquí desta manera, porque hay mucho que ponderar en ello que no sé cómo lo cuente: ver cosas nunca oídas, ni vistas, ni aun soñadas, como víamos^[28].

Hasta dos millones de personas vivían en Tenochtitlan y alrededores en 1500. Su subsistencia dependía del cultivo de campos elevados, llamados *chinampas*. Los primeros pobladores de las tierras pantanosas que rodeaban Tenochtitlan construyeron jardines flotantes con vegetación y barro de los ríos y los apuntalaron con «vallas» de sauces. Abrieron canales entre los jardines y los fertilizaron con barro del lecho de los canales, con vegetación descompuesta y con desechos humanos; cultivándolos con atención podían dar siete cosechas al año. La dieta de aquellos primeros pobladores se complementaba con pescado y aves acuáticas^[29].

La primera civilización agraria de América del sur apareció en el I milenio d. C., en un período de rápido crecimiento demográfico y gran expansión urbana. El primer gran imperio que surgió allí fue el de los incas, que se organizó en el siglo xv. Las civilizaciones agrarias de América del Sur tenían contactos apreciables con Mesoamérica, pero sigue discutiéndose si fueron suficientes para crear un solo sistema mundial. En América del Norte, a raíz de la adopción general del cultivo del maíz a finales del I milenio d. C., las poblaciones crecieron rápidamente; todos los indicios de que había una civilización agraria en ciernes se dieron cita en las culturas llamadas del Mississippi. En el centro había pueblos grandes con centros ceremoniales elevados, a veces de hasta 30 metros de altura. Los centros como Cahokia, que hacia 1200 d. C. pudo contener entre 30 000 y 40 000 habitantes, eran parecidos a los centros ceremoniales del período sumerio de Eridú. Las comunidades del Mississippi probablemente estaban organizadas en jefaturas a gran escala; pero como casi toda la población seguía viviendo en comunidades agrícolas pequeñas, no se puede considerar como civilización agraria plenamente desarrollada. El crecimiento demográfico de esta región se basaba en el maíz, de modo que la región del Mississippi podría considerarse un eje regional dentro de una red americana de intercambios cuyos centros de gravedad estaban en Mesoamérica y América del Sur.

Si se tiene por un eje de esas características, entonces podemos afirmar que en el II milenio d. C. las diversas regiones de civilización agraria del mundo se habían organizado ya, a través de redes de intercambio en expansión, en dos grandes sistemas mundiales: Afroeurasia y América. El sistema afroeuroasiático era más antiguo, más grande y más poderoso, y estaba más densamente poblado. El alcance de su poder se puso claramente de manifiesto en el siglo XVI, cuando los dos sistemas entraron finalmente en contacto. En ninguna de las otras dos zonas mundiales existían civilizaciones agrarias, aunque en algunas regiones dedicadas a la agricultura, como Papúa y Nueva Guinea, las islas Tonga y las Hawái, aparecieron jefaturas poderosas, algunas con asomos de estatalización.

Podemos cuantificar sin demasiado rigor la expansión de las civilizaciones agrarias en un período de 4000 años. Rein Taagepera ha tratado de medir la superficie gobernada por «sistemas imperiales» de Afroeurasia en diferentes fechas. Por *sistemas imperiales* entiende grandes entidades políticas que abarcaban varios estados agrícolas. Aunque la definición dejaría fuera algunas regiones de civilización agraria,

nos da pese a todo un índice aproximado de la expansión política y militar de las civilizaciones agrarias en Afroeurasia. Taagepera calcula la superficie total controlada por sistemas estatales en cada período y compara los resultados con las áreas controladas por sistemas estatales de la actualidad. La tabla 10.2 resume sus datos.

TABLA 10.2. SUPERFICIE DE AFROEURASIA CONTROLADA POR CIVILIZACIONES AGRARIAS.

Era	Fecha	Superficie en megametros (1 megametro = 100.000 km ²)	Porcentaje en comparación con el área controlada hoy
Agraria Tardía 1	principios III mil. a-C.	0,15 (todo en SO Asia)	0,2
	II mil.-mediados		
	I mil. a.C.	1-2,5	0,75-2,0
Agraria Tardía 2	c. VI a.C.	8	6,0
	1 a.C.	16	
	1000 d.C.	16	13,0
Agraria Tardía 3	c. XIII d.C.	33 (sobre todo en el imperio mongol)	25,0
	c. XVII d.C.	44 (ya con América)	33,0
Moderna	c. XX d.C.	aprox. 130	100,0

FUENTE: William Eckhardt, «A Dialectical Evolutionary Theory of Civilizations, Empires, and Wars», en Stephen K. Sanderson, *Civilizations and World Systems: Studying World-Historical Change*, Altamira Press, Walnut Creek (California), 1995, pp. 79-82, basado en buena medida en Rein Taagepera, «Size and Duration of Empires: Systematics of Size», *Social Science Research* 7 (1978), pp. 108-127.

Destacan tres eras. La primera se extiende desde el III milenio hasta mediados del I milenio a. C. En este período sólo había civilizaciones agrarias en la zona afroeurasiática y las que había controlaban sólo el 2 por ciento de la superficie dominada hoy por sistemas estatales. La segunda era empieza a mediados del I milenio a. C., con la aparición del imperio aqueménida, y llega hasta el año 1000 d. C. Al final de esta era, las civilizaciones agrarias dominada entre el 6 y el 13 por 100 de la superficie dominada por los estados modernos. En este período también aparecieron civilizaciones agrarias en América, pero la superficie que abarcaban era mucho menor que en Afroeurasia. Después del año 1000 d. C., con la aparición del imperio mongol y de los imperios europeos de los últimos 500 años, hubo otro fuerte aumento de la superficie controlada por sistemas imperiales. Los imperios americanos también se expandieron después del año 1000, pero contribuyeron mucho menos a esta rápida ampliación. En 1500, el imperio inca gobernaba alrededor de 2 megametros y el imperio azteca sólo 0,22. La inclusión de regiones del Pacífico con

formación estatal incipiente, como Hawái y Tonga, modificaría poco los resultados^[30].

A pesar de este largo proceso de expansión, conviene recordar que todavía en el siglo XVII, hace sólo 300 años, los sistemas estatales no controlaban más que la tercera parte de los territorios abarcados por los estados del siglo XX. Aunque hubieran acabado por dominar redes de intercambio en todo el mundo y por abarcar la mayoría de la población del planeta, nunca habrían controlado el mundo como los actuales estados capitalistas.

Acumulación, innovación y aprendizaje colectivo

La difusión de la civilización agraria fue posible gracias a la continuidad de los procesos de intensificación que habían empezado a principios del Holoceno. Por lo tanto, los índices de innovación fueron un determinante crucial del ritmo y el carácter de los cambios en esta era. ¿Qué factores regulaban los índices de innovación? ¿Dónde fue más intensiva la innovación y a qué velocidad se dio en la era de las civilizaciones agrarias?

La escala por sí sola era una causa de innovación, porque el creciente tamaño de las redes de intercambio generaba nuevas sinergias intelectuales y comerciales. Pero, hablando más concretamente, hubo tres factores que determinaron la pauta y la naturaleza de las innovaciones en este período: el crecimiento demográfico, el aumento de las actividades de los estados, la creciente comercialización y la expansión de las ciudades. Describiré cada uno por separado, aunque en la práctica estuvieron interrelacionados. Aunque contribuyeron a largo plazo a la innovación y al desarrollo, también podían frenarlos a medio y corto plazo. Para los individuos de la época, las pautas cíclicas más evidentes eran por lo general las que se formaban en períodos breves, de ahí que los historiadores premodernos hayan enfocado la historia presuponiéndole ciclos en vez de tendencias a largo plazo. Como veremos, el impacto de estas tres causas de innovación fue ambiguo e impredecible, características que contribuyen a explicar por qué la innovación fue mucho más lenta en la era de las civilizaciones agrarias que en la era moderna.

La escala como causa de innovación. Al nivel más general, el tamaño y la variedad de las redes de información, así como el volumen de los intercambios que había en ellas, determinaron la media de las innovaciones producidas en períodos largos. Cuanto mayor era el volumen y la diversidad de la información que se intercambiaba, más probable era que los intercambios produjeran innovaciones, tanto grandes como pequeñas. En el período que aquí nos interesa, es innegable que las redes de información crecieron en escala y variedad en la zona mundial afroeuropasiática y en menor medida también en América. Además, relacionaron sociedades de muchas

clases: las innovaciones introducidas por los agricultores bárbaros del norte de Europa llegaron a difundirse por el Mediterráneo; las tecnologías de la equitación surgidas en las estepas euroasiáticas se difundieron por China y Mesopotamia, y las tecnologías metalúrgicas y los cultivos se difundieron por toda Afroeurasia, en áreas de civilización agraria y más allá de sus fronteras.

Las mejoras en la tecnología del transporte y las comunicaciones permitieron que las innovaciones se difundieran con más rapidez y amplitud (véanse las tablas 10.3 y 10.4). La revolución de los productos secundarios fue fundamental en el aumento del volumen y la velocidad de los intercambios en la zona afroeuroasiática, porque introdujo nuevas formas de transporte ya en 4000 a. C. probablemente. La explotación de bueyes, asnos y caballos pudo a su vez haber fomentado la aparición del transporte rodado. En el mar, aunque los marineros europeos no alcanzaron la perfección de la navegación polinesia, es indudable que aumentó la velocidad, seguridad y precisión de la navegación europea, sobre todo en el I milenio d. C. La construcción de vías importantes fomentó asimismo el transporte de China a Roma, pasando por Persia. Las principales innovaciones en las formas de comunicación estuvieron relacionadas con la aparición de los signos escritos y los métodos de escritura. Pero hubo imperios, como el de los aqueménidas y el Han, que organizaron sistemas de correos de larga distancia (como los incas mucho más tarde en Perú). Muchas sociedades construyeron además sistemas de alarma primitivos, basados en hogueras de señales, para que la información recorriera distancias largas a gran velocidad.

El tamaño y la diversidad de Afroeurasia y sus sistemas de comunicación relativamente avanzados contribuyen a explicar por qué las innovaciones se produjeron aquí más rápidamente que en las restantes zonas mundiales del Holoceno. El volumen de la información que se intercambiaba era aquí mayor y más variado que en otras partes, así que la acumulación y el intercambio de nuevas tecnologías se producían más aprisa que nunca. La aparición de grandes regiones de civilización agraria y de amplias redes comerciales permitieron que también se pusieran en marcha estos procesos en América. Las redes de información eran grandes aquí; permitían el intercambio de información entre regiones que tenían formas de vida, cultivos, tecnologías y ecologías diferentes; a su vez, las innovaciones ecológicas aumentaban el volumen y la velocidad de los intercambios. La alfabetización fue parte del proceso, como lo fue la construcción de calzadas impresionantes; pero lo que faltó en América fue todo el complejo de innovaciones relacionado en la zona afroeuroasiática con la revolución de los productos secundarios.

TABLA 10.3. REVOLUCIONES DE LOS TRANSPORTES EN LA HISTORIA.

<i>Era</i>	<i>Fecha aproximada</i>	<i>Medios de desplazar personas y mercancías</i>
Paleolítico	Desde c. 700.000 a.p.	Primeras emigraciones de homíninos africanos
	Desde c. 100.000 a.p.	Humanos modernos en Eurasia del sur; primeras emigraciones de humanos modernos africanos
	Desde c. 60.000 a.p.	Primeras migraciones por mar a Australasia; primeras embarcaciones marinas
Agraria	Desde c. 4000 a.C.	Transporte animal
	Desde c. 3500 a.C.	Vehículos con ruedas
	Desde c. 1500 a.C.	Embarcaciones de largo recorrido en Polinesia
	I milenio a.C.	Carreteras y barcos; monedas
Moderna	I milenio d.C.	Mejora la construcción de embarcaciones y la navegación
	Desde prin. siglo XIX	Ferrocarriles y buques de vapor
	Desde finales siglo XIX	Motor de combustión interna
	Desde prin. siglo XX	Navegación aérea
	Desde med. siglo XX	Viajes espaciales

Crecimiento demográfico. Al principio de la era agraria, el crecimiento demográfico y el cambio tecnológico se potenciaban entre sí. En la era de las civilizaciones agrarias, esta relación siguió siendo una importante causa de innovaciones y de acumulación, sobre todo en regiones de pastores o campesinos independientes, cuyas comunidades producían innovaciones importantes, sobre todo en materia agropecuaria.

TABLA 10.4. REVOLUCIONES DE LA INFORMACIÓN EN LA HISTORIA.

Era	Fecha aproximada	Medios de transmitir información
Paleolítico	El Paleolítico, inicio de la historia humana	Formas modernas de lenguaje, información compartida por varios grupos
	Paleolítico Superior	Pinturas rupestres
	Después del Pal. Superior (?)	Comunicación a distancia con tambores, almenaras, señales de humo
Agraria	Desde c. 3000 a.C.	Escritura como información petrificada
	Desde c. 2000 a.C.	Escritura silábica
	Era de las civilizaciones agrícolas	Sistema de correos gubernamental o militar
	Después del siglo VIII d.C.	Impresión con planchas de madera
Moderna	Siglo XVI d.C.	Uso de la imprenta para comunicación de masas, prensa, servicios postales
	Siglos XVIII-XIX	Sistema global; sistemas mundiales comunicación y transporte
	Después de 1830 1880-1890	Telégrafo Teléfono
	Finales del siglo XX	Medios electrónicos: radio, cine, TV, Internet; globalización instantánea de la información

La población mundial pasó de unos 50 millones a unos 250 entre 3000 a. C. y el año 1 d. C. (véanse las tablas 6.2 y 6.3). Esta expansión representa una ligera aceleración del dinamismo demográfico de la primera era agraria y da a entender que la creación de civilizaciones agrarias tuvo un impacto importante pero no revolucionario en el crecimiento de la población. Las tendencias demográficas a largo plazo producen la ilusión de que hubo un crecimiento uniforme. Pero a una escala de varias generaciones o de varios siglos, la pauta que se manifiesta es cíclica, una pauta de auge y decadencia. Los historiadores han venido mostrando un interés creciente por estos grandes ciclos de expansión y decadencia, aunque no se ponen de acuerdo sobre su periodicidad y sus causas. En un célebre trabajo publicado en 1966, *Les paysans de Languedoc*, Emmanuel Le Roy Ladurie rastreaba ciclos de expansión y declive de varios siglos de duración en la región del Languedoc y en los comienzos de la moderna economía francesa en general. Estos ciclos afectaban a todos los aspectos de la vida: Robert S. López decía que eran una «alternancia de pico, depresión y pico» que «puede observarse no sólo en el terreno económico, sino en casi todos los aspectos de la vida: la literatura y el arte, la filosofía y el pensamiento, la política y el derecho también resultaban afectados, aunque en medida diferente^[31]». Con una frase que se hizo famosa, Le Roy Ladurie dijo que estos ciclos eran «la respiración de una estructura social^[32]». Un motivo de su decisiva influencia fue la omnipresente importancia del sector agrario. Dondequiera que las formas de

producción dependiesen, en su mayor parte, de materiales orgánicos y fuentes de energía, el producto agrícola fijaba los límites de la producción no ya de los alimentos, sino de la ropa, la vivienda, la energía, el instrumental productivo, incluso de los pergaminos y el papel^[33]. Como la agricultura era el principal motor del crecimiento económico en la era agraria, los índices de innovación en la agricultura determinaban los ciclos económico, político e incluso cultural a medio plazo. A medida que crecía la población, también lo hacían la producción, la demanda y la mano de obra disponible. Las poblaciones en alza crearon la solidez que se necesitaba para sufragar sistemas comerciales crecientes, estados más grandes, la construcción de una arquitectura monumental y la protección de los artistas y los artesanos, lo cual fomentaba a su vez el cambio cultural. Las civilizaciones agrarias florecieron económica, política y artísticamente en períodos de estas características. Los períodos de población decreciente debilitaban todas estas actividades. En consecuencia, los movimientos de expansión y contracción económica, de la consolidación urbana, del comercio y del poder político están relacionados con los mismos ritmos subyacentes. La acumulación a largo plazo se produjo en el subsuelo de estos ciclos, de un modo por lo general invisible para los contemporáneos. Sólo desde el punto de vista de la historia universal se advierte que cada ciclo suele llegar más arriba que el anterior.

Lo que era válido para los comienzos de la Francia moderna podría repetirse para las civilizaciones agrarias en general. Para comprender los ciclos descritos por Le Roy Ladurie podría sernos útil fijarnos en el crecimiento demográfico de varias regiones de civilización agraria. La figura 10.4 representa en un gráfico las cifras aproximadas de población calculadas por J. R. Biraben para China, la península indostánica y Europa entre 400 a. C. y 1900 d. C.^[34] Salta a la vista en seguida que en cada región hay períodos de crecimiento demográfico seguidos por períodos de reducción, a veces de reducción muy brusca. ¿Cómo explicar estos ritmos a medio plazo que parecen haber determinado la historia de todas las regiones de civilización agraria? Aunque combinan tendencias imbricadas en cuanto a crecimiento demográfico, fluctuaciones de las cosechas, hostilidades y política comercial y estatal, estaban a merced de una serie de factores: un ciclo de retroacción negativa que relacionaba la innovación (sobre todo en agricultura), el crecimiento demográfico, la degradación ecológica, el deterioro de la salud y el aumento de los conflictos, y producía un descenso de la población (véase la figura 10.5).

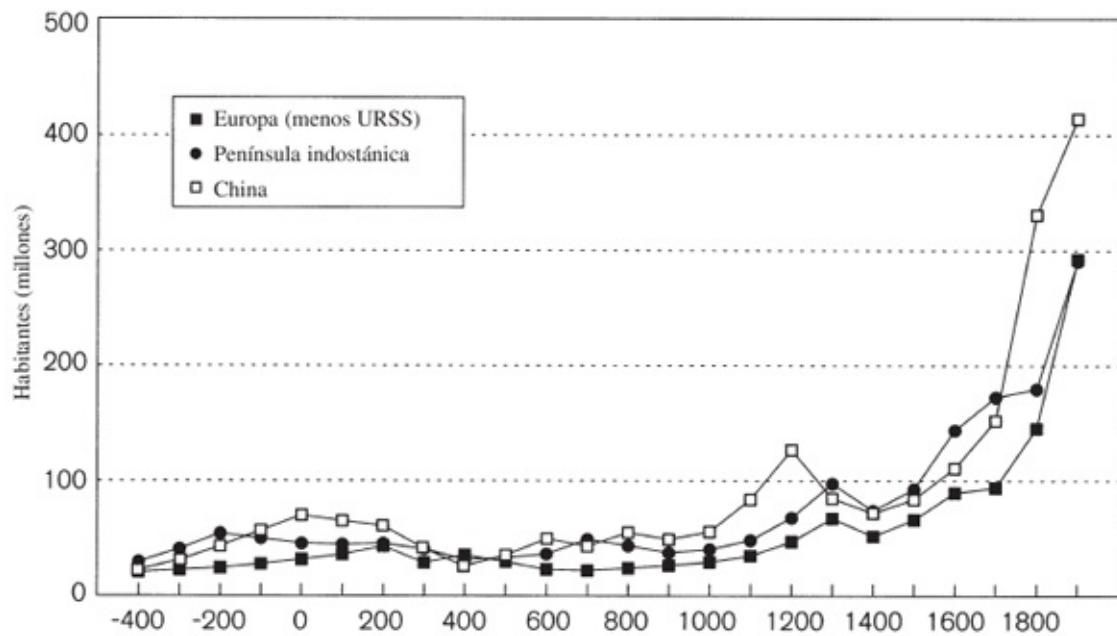


FIGURA 10.4. Ciclos malthusianos en China, la India y Europa, 400 a. C.-1900 d. C. En este gráfico vemos la pauta malthusiana del crecimiento demográfico, jalonada de descensos bruscos, que fue característica de la era agraria. Tomado de J. R. Biraben, «Essai sur l'évolution du nombre des hommes», *Population* 34 (1976), p. 16.

El fundador de los estudios demográficos, el británico Robert Malthus, fue de los primeros que analizaron las relaciones entre crecimiento demográfico y recursos disponibles. A finales del siglo XVIII sostuvo que una especie, considerada de un modo puramente matemático, puede multiplicarse en progresión geométrica, según la conocida tendencia de curva ascendente del interés compuesto. Sin embargo, los recursos disponibles para alimentar a la especie en cuestión sólo crecen en progresión aritmética, siguiendo una tendencia en línea recta. Esto significa, como ya hemos visto en la sección final del capítulo 5, que los recursos disponibles establecen los límites reales del crecimiento demográfico. En la naturaleza, los recursos disponibles están determinados por los nichos disponibles para una especie concreta. Pero los humanos son un caso aparte porque no dejan de inventar: exploran, modifican, mejoran e incluso crean nichos nuevos. Así pues, los límites del crecimiento de la población humana sólo vienen dados por la cantidad y productividad de los nichos que las innovaciones han vuelto disponibles en una época concreta. Cada vez que hay innovaciones importantes, se eleva el techo del crecimiento demográfico. Cuando se producen innovaciones importantes, la población puede crecer hasta que rebasa el último techo. Luego hay un descenso brusco: la tierra se agota; la hambruna se lleva a los hambrientos; las enfermedades acaban con los desnutridos; y las guerras, organizadas a menudo por gobiernos que compiten por los escasos recursos, acaba con los soldados y con los habitantes de las aldeas o ciudades por los que pasan aquéllos. Al final la población se estabiliza a otro nivel. La innovación garantizaba que cada ciclo llegaba normalmente a un nivel más alto que el anterior, pero la innovación solía ser demasiado lenta para impedir la catástrofe al final de cada ciclo, ya que la población crecía más que los recursos disponibles.

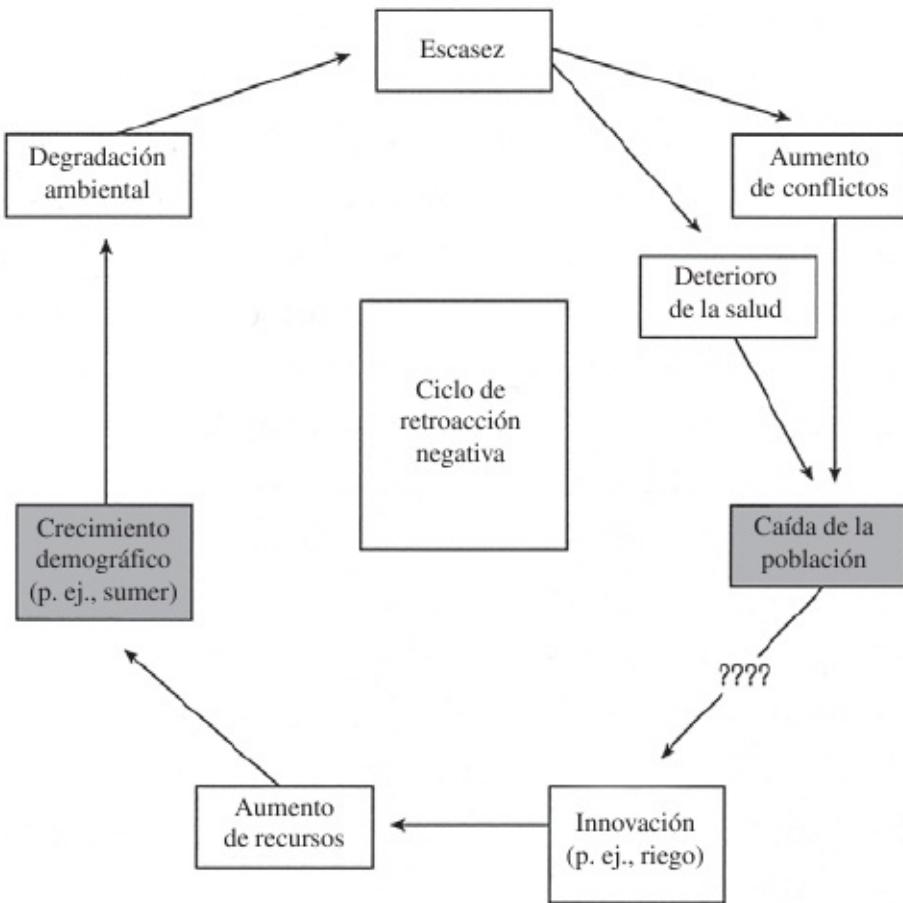


FIGURA 10.5. Ciclo de retroacción negativa: población, agricultura y ambiente.

Hay un importante componente ecológico en estos ritmos, porque las catástrofes demográficas solían precipitarse por culpa de la explotación excesiva de ambientes frágiles, sobre todo en regiones donde el crecimiento demográfico dependía del riego de tierras áridas. Es el mismo ritmo que vemos en la evolución de los parásitos demasiado destructores. En la era de las civilizaciones agrarias se aprecia más donde condujo al hundimiento de toda una civilización. A finales del III milenio a. C., la desertización de la Mesopotamia meridional, más la salinización causada por el riego excesivo, minaron los cimientos ecológicos de Sumer. Un indicio que identifica la salinidad creciente en el registro arqueológico es el aumento del uso de la cebada, que tolera la sal mejor que el trigo. Al final, sin embargo, la población decayó y pasó de unos 630 000 habitantes en 1900 a. C. a unos 270 000 en 1600 a. C., sin que volviera a crecer hasta un milenio después, con los aqueménidas^[35]. Por desgracia, la historia posterior de Mesopotamia repitió los mismos pasos (véase la figura 10.6). La decadencia de la civilización maya a finales del siglo VIII d. C. (véase el mapa 10.1) obedece sin duda a una suerte parecida. Michael D. Coe comenta:

La población maya clásica de las llanuras meridionales seguramente había aumentado hasta desbordar la capacidad de sostén de la tierra, al margen del sistema de agricultura que estuviera vigente. Hay crecientes indicios de deforestación y erosión masivas en toda la región central, paliados sólo en unas cuantas zonas favorables por la construcción de terrazas secas en las laderas. En resumen, la superpoblación y la degradación ambiental habían llegado a un nivel sólo igualado por lo que está ocurriendo actualmente en los

países tropicales más pobres. El apocalipsis maya, porque no fue otra cosa, seguramente tuvo raíces ecológicas^[36].

Las nuevas tecnologías o las nuevas oportunidades potenciaron el crecimiento demográfico en todos estos casos, pero ni la pericia tecnológica ni la administrativa bastaron para sostener el crecimiento indefinidamente. En todos estos casos bastó la innovación para iniciar el crecimiento, pero no para sostenerlo ni para impedir la sobreexplotación y el hundimiento ecológico. Esta pauta característica de la innovación lenta (la «deriva tecnológica» de que habla Eric Jones) que se queda por debajo de los índices potenciales de crecimiento demográfico es el principal elemento que explica los ciclos escalonados que se pueden ver en toda la era agraria^[37]. Me referiré a ellos llamándolos *ciclos malthusianos*.

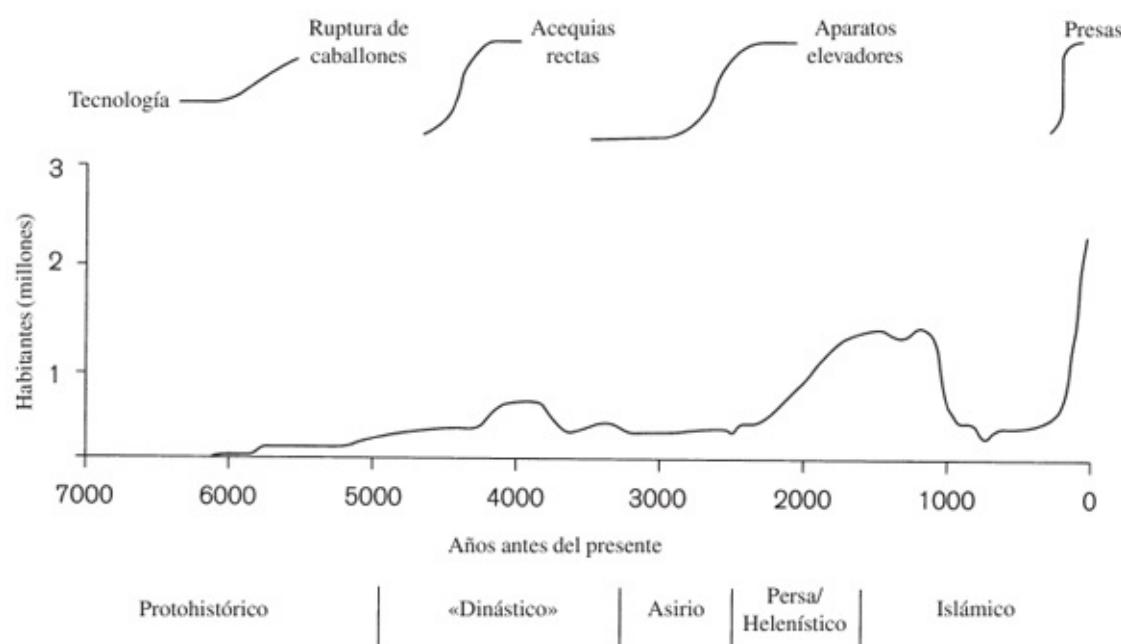


FIGURA 10.6. Población y cambio tecnológico: ciclos malthusianos y tecnologías de riego en la baja Mesopotamia. Basado en Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998², p. 175, basado a su vez en M. J. Bowden *et al.*, «The Effect of Climate Fluctuations on Human Populations: Two Hypotheses», en T. M. L. Wigley, M. J. Ingram y G. Farmer, eds., *Climate and History: Studies in Past Climates and Their Impact on Man*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981, pp. 479-513.

Las enfermedades forman parte de estos ciclos tanto como la degradación ambiental. Las relaciones entre los humanos y las enfermedades son más fáciles de apreciar en Afroeurasia, tal vez, como sostiene Jared Diamond, porque sólo los humanos vivían con los animales en contacto tan estrecho como para intercambiar con ellos organismos patógenos^[38]. Las cifras de la tabla 6.3 indican que la población mundial aumentó con una rapidez excepcional entre 1000 a. C. y el año 1 a. C. (Estas cifras corresponden sobre todo a Eurasia, así que cualquier conclusión que saquemos con ellas se referirá sobre todo a Eurasia). Entre 3000 y 1000 a. C., el tiempo de duplicación de la población mundial pasó de 1630 años aproximadamente a comienzos de la era agraria a unos 1580; pero entre 1000 y 1 a. C., pasó a ser de 945

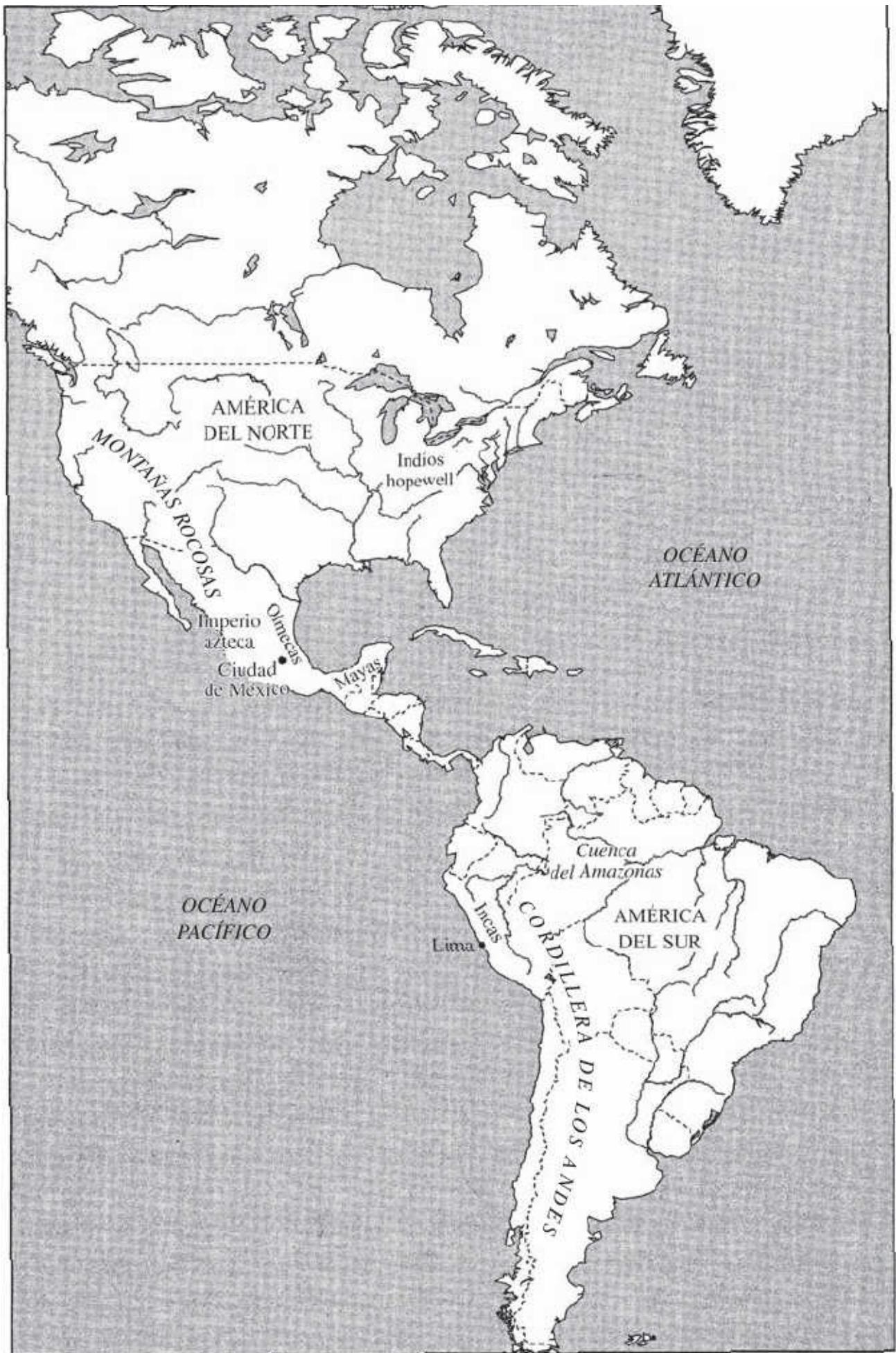
años. Estos cálculos refuerzan la impresión que dejan otras tendencias: que el I milenio a. C. fue un período de crecimiento demográfico excepcional, por lo menos en gran parte de la zona mundial afroeuroasiática, y que luego se volvió más lento. ¿Por qué?

La explicación más elegante de esta aceleración en el crecimiento demográfico de Eurasia se debe a William McNeill. Tuvo que ver con las cambiantes relaciones de los humanos con los parásitos, grandes y pequeños. Los «macroparásitos» (los estados exactores) aprendieron a recaudar tributos por medios menos violentos y más previsibles; mientras que el crecimiento demográfico y los intercambios epidemiológicos capacitaron a cada región para establecer relaciones más estables con las enfermedades locales:

Durante el I milenio a. C., el equilibrio entre el «macroparasitismo» y el «microparasitismo» en tres importantes centros demográficos [China, India y el Mediterráneo] se compensó de tal modo que permitió el incesante crecimiento demográfico y la expansión territorial de formas de sociedad civilizada. En consecuencia, a principios de la era cristiana, las civilizaciones de China, la India y el Mediterráneo habían alcanzado un tamaño y una masa comparables a los del más antiguo y civilizado Oriente Medio^[39].

Los sistemas políticos sabían juzgar mejor los niveles apropiados de la exacción y los súbditos (y su sistema inmunológico) sabían enfrentarse mejor a las enfermedades infecciosas.

Lamentablemente, la moneda de esta argumentación tiene otra cara. Cuando las regiones hasta entonces aisladas normalizaban sus contactos, intercambiaban enfermedades. Y este intercambio podía ser devastador en lugares donde se carecía de la inmunidad necesaria. Las epidemias pudieron haber invertido o desacelerado el crecimiento demográfico durante un tiempo a ambos lados de la frontera epidemiológica. En el I milenio de la era moderna, hasta el año 1000 d. C., la población mundial no aumentó en absoluto. Este revés demográfico es de importancia capital y sin embargo ha sido casi totalmente olvidado por los historiadores. Es posible que haya habido períodos anteriores con un crecimiento lento parecido, aunque con los testimonios disponibles es difícil saberlo. En el sistema mundial mediterráneo encontramos indicios de importantes colapsos demográficos y políticos a finales del III milenio a. C. y hacia el final del II. Fueran cuales fuesen las causas de estas decadencias anteriores, McNeill dice que el estancamiento del I milenio d. C. se debió al aumento del tráfico por las principales redes de intercambio de Eurasia, como las Rutas de la Seda y las rutas marítimas que unían el Mediterráneo y Asia meridional y oriental. Las bacterias patógenas viajaron por estas rutas lo mismo que los humanos, las mercancías y las técnicas, ocasionando epidemias masivas y recurrentes cuando las regiones se enfrentaban a enfermedades nuevas para las que la población carecía de anticuerpos biológicos o culturales. McNeill califica este proceso de «clausura de la ecumene euroasiática^[40]».



Las nuevas enfermedades causaron mayor impacto en los extremos del sistema mundial euroasiático, el Mediterráneo y China, donde los contactos anteriores habían sido más limitados. Afectaron menos a Mesopotamia y la India, regiones que estaban más cerca del eje de la red euroasiática de intercambios y, por lo tanto, eran más resistentes a las enfermedades. McNeill aduce que en las regiones de población más densa probablemente aparecieron relaciones más estables con las bacterias patógenas regionales en el I milenio a. C., lo cual podría explicar que en dicho milenio hubiera un crecimiento demográfico más rápido; los intercambios de bacterias patógenas entre las principales civilizaciones de Eurasia podrían explicar el lento crecimiento del I milenio d. C.

La creciente importancia en el I milenio d. C. de los sasánidas y luego de los imperios islámicos, cuyos centros estaban en Persia y Mesopotamia, y del imperio Gupta (320-535 d. C.) del norte de la India podría tener detrás la inmunidad relativa de las regiones axiales. Pero los individuos caían enfermos en el extremo oriente y en el extremo occidente. Como dice McNeill: «En los primeros siglos cristianos [...] Europa y China, las dos civilizaciones menos afectadas por las enfermedades del Viejo Mundo, estaban en una situación epidemiológica parecida a la de los amerindios en época posterior: eran vulnerables al ataque socialmente perturbador de las enfermedades infecciosas que no conocían^[41]». Es probable que en el mundo mediterráneo no existieran hasta el I milenio d. C. enfermedades como la viruela, el sarampión y la rubéola^[42]. Roma sufrió la primera epidemia a gran escala en 165 d. C. Seguramente se trató de la viruela, pero en los siglos siguientes aparecieron el sarampión y la peste bubónica. La «peste de Justiniano», que azotó Bizancio en 542-543, fue casi con toda seguridad peste bubónica, ya que el historiador Procopio nos ha legado una detallada descripción de la enfermedad^[43]. La peste reapareció por lo menos en los dos siglos siguientes.

Estos devastadores intercambios bacterianos no se limitaron a alterar los esquemas demográficos. Afectaron también a las estructuras estatales e incluso a la historia religiosa e intelectual. Es probable, por ejemplo, que el descenso de la población contribuyera a la decadencia del imperio romano. El cuadro no es tan claro en China, aunque hay indicios de que hubo infecciones severas, quizás de viruela y sarampión, desde mediados del siglo II d. C. Sabemos también que la población china descendió bruscamente y que las estructuras políticas e ideológicas del imperio se hundieron con ella entre la caída de la dinastía Han y el ascenso de la Tang (618 d. C.).^[44] Mientras tanto, la población de Mesopotamia, Irán y probablemente también el norte de la India resistió mucho mejor y estas regiones florecieron a finales del I milenio d. C. La peste negra del siglo XIV inaugura una nueva fase en el intercambio de portadores de enfermedades, y en este caso la enfermedad dominante fue la peste bubónica.

En la era de las civilizaciones agrarias hubo otras agresiones que redujeron el ritmo de la acumulación demográfica. Las más importantes fueron las del emparentado trío del hambre, la guerra y la expansión urbana. Las estudiaremos más adelante.

Los estados, causa de acumulación. En las regiones que controlaban, los estados y las ciudades fueron potentes concentradores de riqueza y fuentes poderosas de acumulación e innovación, porque la fuerza de los gobernantes dependía de su capacidad para movilizar recursos humanos y económicos. Además, las ciudades, por su propia naturaleza, eran ejes importantes del intercambio de ideas, así como de mercancías. Sin embargo, las ciudades y los estados también podían entorpecer la innovación.

Aunque los estados individuales también ascendían y caían, todas las tendencias a largo plazo indican un aumento sostenido del alcance y el poder de los estados más grandes y poderosos. En relación con este fenómeno se produjo un aumento cuantitativo de sistemas estatales más pequeños y rudimentarios, con administración limitada y soberanía fragmentada, un modelo político que a menudo se denomina *feudal* o simplemente *los primeros estados*^[45]. Ningún estado de la era de las civilizaciones agrarias tenía ni por asomo la capacidad de los estados modernos para regular la vida cotidiana de sus súbditos. Casi todos gobernaban con cadenas de intermediarios, sin saber casi nada de la mayoría de los gobernados ni interesarse por su vida. De todos modos, es indudable que mejoraron lentamente sus funciones y que administraron su poder con gran habilidad y eficacia conforme sus métodos de depredación se volvían menos violentos y más contenidos.

Una medida indirecta del creciente poder de los estados es la superficie gobernada por los más grandes. Rein Taagepera ha calculado aproximadamente esta tendencia^[46]. Las cifras de la tabla 10.5 señalan que hubo tres eras.

TABLA 10.5. SUPERFICIE GOBERNADA POR ESTADOS E IMPERIOS CONCRETOS.

Era	Fecha	Estado o imperio	Superficie controlada (megametros)
Agraria tardía 1	Finales III mil. a.C.	Sargón de Acad, S. Mesopotamia	0,6
	Finales III mil. a.C.	Egipto	0,4
	Mediados II mil. a.C.	Tutmosis III de Egipto (1490-1463)	1,0
	Finales II mil. a.C.	Dinastía Shang, China	1,0
Agraria tardía 2	Mediados I mil. a.C.	Imperio aqueménida, Irán (y sucesores)	5,5
	Finales I mil. a.C.	Imperio Maurya, India	3,0
	Finales I mil. a.C.	Dinastía Han, China	6,0
	Prin. I mil. d.C.	Imperio romano	4,0
	Mediados-finales I mil. d.C.	Primeros imperios islámicos	10,0
	Mediados-finales I mil. d.C.	Primer imperio turco, Eurasia interior	7,5
	Principios-mediados II mil. d.C.	Imperio mongol, Eurasia interior	25,0
Moderna	c. 1500 d.C.	Imperios inca y azteca	2,2

FUENTE: Cifras tomadas de Rein Taagepera. «Size and Duration of Empires: Systematics of Size», *Social Science Research* 7 (1978), pp. 108-127.

La primera, de c. 3000 a. C. a 600 a. C. En ella, ni siquiera los estados más grandes controlaban más de un megametro (1 megametro = 100 000 km²) de tierra. El primer sistema imperial, creado por Sargón de Acad, abarcaba alrededor de 0,6 megametros, mientras que las dinastías egipcias del III milenio, sus rivales más próximas, controlaron unos 0,4 en su mejor momento. El imperio de Sargón fijó un umbral que sólo consiguió cruzarse a mediados del II milenio, cuando el faraón Tutmosis III fundó en Egipto y el este de Mesopotamia un imperio de corta duración que tal vez abarcara cerca de 1 megametro. La misma superficie podría tal vez atribuirse al imperio de la dinastía Shang de China en los siglos XIII y XII.

Segunda. El imperio aqueménida alcanzó una nueva cota en el siglo VI del I milenio a. C. En su momento culminante gobernó sobre alrededor de 5,5 megametros de territorio. Durante los dos mil años que siguieron, Persia, gobernada por los aqueménidas, los seléucidas, los partos, los sassánidas y los abasíes, pasó a ser el centro de una serie de imperios que controlaron un territorio de extensión parecida. Ellos fijaron la media de la extensión imperial en todo este período. El imperio Maurya de la India gobernó brevemente más de 3 megametros en el siglo III a. C. Ningún imperio indostánico posterior alcanzó este nivel hasta que se fundó el imperio mongol, en el siglo VI d. C. En el siglo I a. C., la dinastía Han de China había

empezado a gobernar un territorio mayor aún que el de Persia (más de 6 megametros). El imperio de Alejandro Magno fue más grande que el de los persas, pero más efímero. En el siglo I d. C., Roma controló un imperio de más de 4 megametros. Las conquistas islámicas de los siglos VII y VIII crearon imperios, con base en Mesopotamia y Persia, que abarcaban unos 10 megametros de la principal región axial de Afroeurasia, hasta que se fragmentaron.

Tercera. Con la notable excepción del imperio mongol del siglo XIII, que controló 25 megametros en su mejor momento, y el caso posterior de los primeros imperios europeos modernos, que también controlaron unos 25 megametros en el siglo XVII, el límite de casi todos los imperios tradicionales siguió estando entre 5 y 10 megametros. Sólo cuando la era moderna mejoró las tecnologías de las comunicaciones y los transportes, y gracias también a las modernas técnicas militares y burocráticas, fue posible crear imperios más grandes.

El crecimiento de los sistemas estatales siguió en América pautas parecidas, pero con un retraso de alrededor de dos milenios. A finales del II milenio o comienzos del I a. C. aparecieron civilizaciones agrarias semejantes en escala a las del Sumer o el Egipto del III milenio. El umbral político inaugurado por el imperio aqueménida no se cruzó en América hasta la llegada de los europeos. En 1500 d. C., los incas gobernaban una superficie de unos 2 megametros, mientras que el de los aztecas era mucho menor, ya que la superficie que controlaba era sólo de 0,22 megametros aproximadamente^[47].

Los cambios en la mentalidad religiosa fueron un reflejo del poder y alcance crecientes de las estructuras estatales, porque las religiones podían apuntalar el poder del estado fomentando la lealtad y justificando los intercambios tributarios, sobre todo donde había iglesias institucionalizadas. Las religiones de las primeras civilizaciones agrarias, como las del mundo paleolítico, solían ser locales o regionales en cuanto a reivindicaciones e influencias^[48]. De los dioses, como miembros de la familia, se esperaba que protegieran a tribus o ciudades concretas y hostigaran a los enemigos. Con la aparición de los primeros imperios, los dioses regionales pasaron a formar parte de panteones más grandes, más imperiales; pero la religión siguió siendo un asunto regional, estrechamente vinculado a la suerte de dinastías, ciudades e imperios concretos. Esta relación se puede ver en el arte religioso de Naram-Sin (c. 2250-2220 a. C.), nieto de Sargón de Acad, que aparece representado como una divinidad que gobierna sobre otras divinidades.

Hasta el I milenio a. C. no aparecen las religiones universales. Aunque relacionadas en la práctica con dinastías o imperios concretos, proclamaban verdades universales y adoraban a dioses omnipotentes. No es una casualidad que aparecieran en el momento en que los imperios y las redes de intercambio llegaban al límite del universo conocido y controlaban poblaciones con diferentes sistemas de creencias y formas de vida. Tampoco es casualidad que una de las primeras religiones de esta

clase, el zoroastrismo, apareciera en el mayor imperio de mediados del I milenio a. C., el de los aqueménidas, y en el eje de rutas comerciales que estaban envolviendo Afroeurasia en un único sistema mundial. La verdad es que casi todas las religiones universales aparecieron en la región axial situada entre Mesopotamia y el norte de la India. El zoroastrismo y el maniqueísmo en Persia, el budismo en la India, el confucianismo en China, y el judaísmo, el cristianismo y el islamismo en el mundo mediterráneo. Hablando de ellas en una historia universal publicada en 1949, el filósofo existencialista Karl Jaspers llamó a este período «época axial^[49]». La difusión de estas religiones por las rutas comerciales es un sólido testimonio de las crecientes relaciones entre distintas partes de Eurasia, porque el budismo viajó a China por las Rutas de la Seda, al igual que el maniqueísmo y el cristianismo nestoriano. El islamismo se benefició del dominio que ejercía en la región axial mesopotámica y al final desbordó sus fronteras: por el oeste llegó a España, por el sur a África oriental, por el este a Asia central y norte de China, y finalmente a la India y a grandes zonas del sureste asiático. El cristianismo, aunque triunfador en la región mediterránea durante un tiempo, tuvo que retroceder ante el islam durante muchos siglos. Su momento llegó a finales del II milenio d. C.

Los estados extractores, como el crecimiento demográfico, causaron un impacto importante pero contradictorio en la acumulación. Por el lado optimista, tenían un buen motivo para incentivar la innovación y la acumulación, y era aumentar su propio poder y su eficacia. A semejanza de los virus, podían robar a su víctima con mayor o menor eficacia y más o menos brutalidad. Los estados más estables y los gobernantes más prudentes protegieron la base productiva de la sociedad gravándola con impuestos ligeros, manteniendo una infraestructura básica, garantizando la ley y el orden, y estimulando el desarrollo en las poblaciones rurales y el crecimiento del producto agrícola. Los impuestos ligeros y la estabilidad gubernamental podían fomentar el aumento de la producción agrícola y artesanal. Pero también era importante estimular el desarrollo por otros medios, manteniendo infraestructuras como las redes viarias y los sistemas de riego. La importancia de estos métodos es un tema que aparece una y otra vez en los manuales del arte de gobernar que se escriben en todas las civilizaciones agrarias de Eurasia. Muchos autores antiguos estaban interesados por la implantación de sistemas tributarios menos rapaces y más sostenibles. Un príncipe musulmán de Tabaristán escribió en el siglo XI d. C. un libro para su hijo: «Dedica tu celo a mejorar los cultivos y a gobernar bien; para que entiendas esta verdad: el reino puede sostenerse con un ejército, y el ejército con oro; el oro se consigue con el desarrollo agrícola, y el desarrollo agrícola con la justicia y la equidad. Por lo tanto, sé justo y equitativo^[50]». Con un espíritu parecido, los gobiernos chinos de la era Song ordenaban a sus funcionarios que promovieran en el sur del país el uso de variedades de arroz más productivas. Las primeras dinastías chinas invirtieron elevadas cantidades en la construcción de canales y en la mejora de los caminos para facilitar el transporte del grano y otras mercancías a las principales

ciudades. Todos los gobiernos cuyos súbditos dependían de grandes obras de riego se preocupaban por el mantenimiento de estos sistemas.

Los estados podían fomentar la acumulación por otros medios. Casi todos los estados exactores dedicaban a la guerra el máximo de atención, dado que la conquista de las sociedades vecinas era una de las formas más rápidas de adquirir recursos. En consecuencia, los estados exactores se interesaban por las innovaciones militares. Los gobiernos sumerios compraban cobre y estaño porque necesitaban bronce para forjar armas. La tecnología romana es admirable en sectores como la construcción de puentes, acueductos y fortificaciones; en el uso de la argamasa; y en la construcción de máquinas de guerra como catapultas y máquinas de asedio, que se construían con complicados sistemas de trinquetes, poleas y engranajes. La tecnología (y la habilidad burocrática) fue particularmente notable en sectores como la fortificación (por ejemplo, la Gran Muralla China), la producción en serie de armas y armaduras, la movilización de recursos para la guerra y la construcción de canales para el transporte de productos alimenticios.

Los gobernantes, para realzar su prestigio, solían financiar grandes obras públicas. Las tecnologías empleadas para mantener y embellecer la capital de Roma fueron impresionantes. Se ha llegado a decir que «la Roma del año 100 d. C. tenía las calles mejor pavimentadas, mejor alcantarillado, mejores suministros de agua y un servicio contra incendios mejor que las capitales de la civilizada Europa de 1800^[51]». Al igual que la formación de grandes ejércitos, eran obras públicas que fomentaban la acumulación estimulando el comercio y generando demanda. Los estados poderosos gastaban a manos llenas en grandes obras de prestigio, por ejemplo la construcción de Persépolis, la capital aqueménida. Estas obras tenían por objeto impresionar a los súbitos y a los rivales, pero al mismo tiempo creaban empleo y atraían a los comerciantes y a los artesanos. En busca de la eficacia administrativa, los estados se esforzaban por promover la mejora de la educación, aunque por lo general sólo entre los funcionarios. Entre los cambios que tal vez mejorasen la efectividad de la burocracia cabe destacar la introducción del alfabeto en las ciudades de Fenicia alrededor de 1000 a. C., además de ciertos progresos en matemáticas y astronomía que permitían llevar mejor los calendarios y la contabilidad. Además, se necesitaron burocracias mayores y más eficaces para administrar los grandes ejércitos permanentes que empezaron a regularizarse por lo menos desde los tiempos del imperio asirio. Por último, un gobierno estable con una política fiscal moderada era un aliciente para que los campesinos produjeran más excedentes y para que los mercaderes comerciaran de manera más generalizada.

Pero, aunque los estados exactores solían fomentar la acumulación, también podían socavarla y a veces con serias consecuencias. En realidad, era inevitable que ocurriera a causa de las estructuras básicas de las civilizaciones agrarias. Las minorías exactoras no podían existir si los productores primarios no tenían acceso a la tierra, porque era ésta la que producía más recursos excedentes. Así pues, en la

mayoría las civilizaciones agrarias casi todos los súbditos tenían acceso a la tierra de una forma o de otra. Esta amplia distribución de los recursos productivos limitaba el aumento de las diferencias de riqueza e impedía la concentración de recursos en manos de grupos privilegiados. Esto quiere decir que, aunque la riqueza *excedente* podía concentrarse en manos de gobernantes y grupos privilegiados, la tierra, recurso productivo fundamental de todas las sociedades agrarias, no podía. Fueran cuales fuesen las reclamaciones simbólicas que los grupos privilegiados presentaran en relación con la tierra, tenían que dejarla casi toda en manos de los agricultores que la trabajaban habitualmente. Este requisito limitó su capacidad para administrar y supervisar la producción agrícola. También explica por qué los estados exactores podían sobrevivir con una burocracia tan rudimentaria: confiaban casi todas las labores básicas de producción a la habilidad y el contingente humano de las unidades familiares rurales.

Como ya señaló Marx, estas relaciones explican que los grupos exactores tuvieran que conseguir recursos por medios que solían frenar la innovación y la productividad^[52]. Si los campesinos tienen tierra suficiente para autoabastecerse, la idea de entregar las grandes sumas a menudo exigidas por los grupos privilegiados resulta poco estimulante. Precisamente por esto, los grupos privilegiados amenazaban normalmente con el uso de la fuerza. A corto y medio plazo, estas amenazas, ya se utilizaran para exigir impuestos regulares o para obtener nuevos aportes mediante la conquista, eran la forma más efectiva de conseguir recursos, porque el crecimiento *real* de la producción era demasiado lento para interesar a los gobernantes. Por esta razón ha dicho Moses Finley, tal vez exagerando un poco, que «lo que en la antigüedad se entendió por crecimiento económico se consiguió siempre mediante la expansión exterior^[53]». Dadas las características del medio, había que ser un gobernante insólitamente previsor o confiado para invertir grandes cantidades en proyectos que no alcanzarían los niveles de productividad hasta décadas más tarde. Ante la inmediatez de las crisis, incluso los más capaces se volvían depredadores brutales y destructivos. Gobernantes menos capaces, o más desesperados, utilizaban habitualmente métodos fiscales destructivos, incluso cuando ellos o sus consejeros sabían que estaban minando los cimientos de su poder. En la historia de Moscova, el reinado de Iván el Terrible es un ejemplo horripilante de los peligros que acarrea una depredación excesiva. Al morir Iván, el poderoso imperio moscovita, que había tardado siglos en construirse, estuvo a punto de perecer en un período de guerra civil, hambre, invasiones y despoblación conocido con el nombre de «época de los disturbios». El hundimiento se debió sobre todo a la política sumamente depredadora de Iván, que condenaba a los campesinos, la base productiva de todas las civilizaciones agrarias, a arruinarse o huir.

Estos rasgos estructurales básicos de las civilizaciones agrarias acarrearon consecuencias importantes. En primer lugar, los grupos privilegiados de las sociedades exactoras tenían que estar especializados en la coacción y la

administración y no en la producción. En general, los grupos exactores despreciaban el trabajo productivo y a los que se dedicaban a él, lo que significa que en la mayoría de los casos no sabían nada sobre las tecnologías productivas en las que se basaba su riqueza. Los modelos de las formas de vida de los grupos privilegiados eran el funcionario y el soldado (administradores y ejecutores), no el artesano, el campesino o el comerciante. Los grupos exactores se contentaban, en la mayoría de los casos, con tomar lo que necesitaban y concentrarse en las habilidades militares y fiscales que hacían falta para preservar la exacción. Por lo general tenían que ser disipadores de riqueza y no generadores de la misma, motivo por el cual el arte de gobernar tenía prioridad sobre las previsiones económicas^[54]. La descripción de Maquiavelo de las leyes estratégicas y tácticas de este mundo resulta útil, a pesar de su tono caricaturesco:

Un príncipe, pues, no debe tener otro objeto ni otra preocupación ni otro arte que la guerra y su organización y dirección, porque éste es un arte que corresponde exclusivamente a quien manda; y además comporta tanta virtud que no tan sólo mantiene en su lugar a quienes han nacido príncipes, sino que muchas veces eleva a ese rango a hombres de condición privada. [...] Pero el motivo fundamental que lleva a perderlo [al estado] es descuidar este arte, y el motivo que permite adquirirlo es ser experto en el mismo.

En un mundo así, era lógico que los varones privilegiados se adiestraran sobre todo en el ejercicio de la coacción y no en las actividades intelectuales o comerciales. Así pues, el tiempo que se pasaba cazando o en torneos era más útil que el que se pasaba en la contaduría.

Por lo tanto, [el príncipe] jamás deberá apartar su pensamiento del adiestramiento militar y en época de paz se habrá de emplear en ello con más intensidad que durante la guerra, lo cual puede llevar a cabo de dos maneras: por un lado de obra, por otro mentalmente. Por lo que a las obras se refiere, además de tener sus ejércitos bien organizados y adiestrados, debe ir siempre de caza para acostumbrar el cuerpo a los inconvenientes y al mismo tiempo para conocer la naturaleza de los lugares, cómo se levantan las montañas, cómo se abren los valles, cómo se extienden las llanuras^[55].

Estas actitudes permitían a los grupos exactores alardear de la violencia con una ostentación poco habitual hoy en el mundo industrializado, ya que la reconocían como un instrumento de gobierno esencial. Nizam al-Mulk, visir de los sultanes selyúcidas, citaba las siguientes palabras del califa abasí al-Ma'mun: «Tengo dos jefes de la guardia que se pasan el día entero decapitando, ahorcando, cortando manos y pies, apaleando y encarcelando». Y un autor francés del siglo XII describe así el júbilo de la batalla: «Os aseguro que nunca como, duermo ni bebo tan bien como cuando oigo el grito de ¡Al ataque! En ambos bandos, y cuando oigo en la espesura el relincho de los caballos sin jinete, y oigo gritos de ¡Ayuda, ayuda! Y veo caer a los hombres [...] y a los muertos con el costado atravesado por lanzas de alegre banderola^[56]».

En determinadas circunstancias, los grupos privilegiados operaban en el límite de la violencia, sin llegar a ella, especializándose por el contrario en la coacción. En la China imperial —donde había una nutrida burocracia que controlaba los ejércitos y a

los recaudadores de impuestos desde la época de la dinastía Qin (221-207 a. C.), que fundó el primer estado imperial unificado— había formas administrativas y jurídicas de coacción que obtenían más resultados que la violencia física, y los ambiciosos pasaban más tiempo investigando que cazando. Pero lo que investigaban era el dominio, no la agricultura o el comercio.

Al mismo tiempo, los campesinos (los productores primarios) carecían de incentivos para aumentar su productividad mientras pudieran seguir viviendo, ya que los señores se quedaban con cualquier excedente con una facilidad asombrosa. Los sistemas de gobierno estables y duraderos como el de China prosperaron hasta cierto punto porque tenían riqueza y tiempo suficiente para mantener niveles impositivos previsibles y relativamente bajos, lo cual hacía que los campesinos se interesasen más por las innovaciones que aumentaban la productividad^[57]. Pero los incentivos para las innovaciones eran limitados incluso entre los campesinos de los estados menos depredadores. Por lo general les faltaban recursos económicos, capacidad para afrontar riesgos y la formación imprescindible para experimentar con tecnologías nuevas.

En general, como ha señalado Joel Mokyr, es improbable que haya innovación tecnológica rápida allí donde los que trabajan carecen de riqueza, educación y prestigio, y donde los que son ricos, educados y con prestigio no saben nada del trabajo productivo. En las civilizaciones agrarias, los grupos exactores ejercían un importante control sobre las redes de intercambio informativo y su hostilidad al pensamiento tecnológico debió de frenar la circulación de innovaciones en técnicas de producción^[58]. Para cerrar el círculo vicioso, las bajas tasas de crecimiento frenaban a su vez las inversiones porque auguraban que sólo podría haber ingresos en un futuro lejano. En un mundo de crecimiento aletargado (en comparación con las medias actuales), invertir en desarrollo era un método demasiado lento de aumentar los ingresos: la conquista solía ser una apuesta más prometedora. De este modo, las estructuras sociales y económicas en las que los estados exactores cimentaban su poder frenaban la innovación en el campo de las tecnologías de la producción.

Intercambio, comercio y expansión urbana. Otro motor de innovaciones en la era de las civilizaciones agrarias fue el intercambio comercial. Los especializados en esta clase de comercio tenían que saber manejar los sistemas consensuales de intercambio, aunque por lo general estuvieran dispuestos a utilizar la fuerza si podían hacerlo con impunidad. Pero la fuerza solía desempeñar un papel menor, bien porque los intercambios se producían lejos del alcance de las formas coercitivas de poder o bien porque afectaban a mercancías que no interesaban a quienes tenían capacidad para coaccionar. Como la eficacia y el consenso suelen ser más importantes que la fuerza en los intercambios comerciales, se ha dado por sentado que el comercio tiene más capacidad que la exacción para generar innovaciones que aumenten la eficacia.

Aunque la exacción, antes de la era moderna, superaba a los intercambios en casi todos los estados, los gobernantes tenían menos capacidad para controlar recursos fuera de sus fronteras. Así, excepto donde estaban respaldados por ejércitos invasores, los intercambios internacionales fueron a menudo más consensuales. En consecuencia, los intercambios consensuales solían llegar más lejos que los dirigidos por los gobernantes exactores. El crecimiento demográfico, la difusión de las civilizaciones agrarias y las mejoras de los medios de comunicación tendían, a largo plazo, a aumentar el volumen y el alcance de los intercambios a distancia. Éstos, a su vez, aceleraron la difusión de nuevas técnicas administrativas y militares de producción y de nuevos productos en los crecientes sistemas mundiales, porque los comerciantes solían tener buenos motivos para fomentar las innovaciones que les dieran ventajas comerciales. (Fueron estos apremios los que permitieron que los estados y comerciantes de Eurasia occidental buscaran y descubrieran el secreto de la fabricación de la seda en el I milenio a. C.). Pero los intercambios comerciales también generaban una sinergia propia, porque con frecuencia ocurría que innovaciones procedentes de diversas regiones se combinaban de un modo nuevo e incluso más fructífero en la nueva patria, ampliándose así la escala y el alcance de su impacto^[59]. Un caso espectacular es la sinergia militar creada por la introducción de la equitación, propia de las estepas, en las civilizaciones agrarias, un proceso que revolucionó la guerra. Sin embargo, veremos que los intercambios interregionales podían también retrasar procesos de acumulación, sobre todo por su impacto indirecto en el comportamiento de las enfermedades; al mismo tiempo, la avaricia de los estados sumamente depredadores sofocaba a menudo estos contactos interregionales. Así pues, el comercio podía estimular el cambio, pero no con tanta fuerza como lo estimula en el mundo moderno.

Casi todos los grupos exactores despreciaban los intercambios comerciales pacíficos y a quienes los cultivaban. Este desprecio se advierte en los valores oficiales de la mayoría de los sistemas imperiales: en los valores confucianos, en el sistema de castas de la India, en las actitudes romanas hacia los comerciantes y, en general, en la baja categoría social que se adjudicaba a los comerciantes en la mayoría de los estados agrícolas. Sin embargo, a muy largo plazo, los sistemas de intercambio se ensancharon durante toda la era de las civilizaciones agrarias; y con ellos el volumen de la riqueza que manejaban los comerciantes y los aventureros, y finalmente, la influencia de estos grupos.

Según crecían las redes de intercambio y se volvían más frecuentes los intercambios a distancia, aumentaban la información y la riqueza que pasaban por las regiones axiales, que adquirieron una creciente importancia estratégica. Como las ciudades dependen tanto del comercio, la expansión urbana nos da una excelente medida indirecta de estas tendencias. La historia de la expansión urbana en Eurasia coincide con las pautas que ya hemos observado (véase la tabla 10.6). También aquí hay un umbral crítico que parece haberse cruzado en el I milenio a. C.^[60]. En el III

milenio a. C. había quizá ocho ciudades que tenían por lo menos 30 000 habitantes. Todas estaban en la región axial afroeuroasiática de Mesopotamia o Egipto y en total sumaban unos 240 000 habitantes. Hacia 1200 a. C. había quizá dieciséis ciudades de este tamaño, con un total de medio millón de habitantes, pero ahora se encontraban repartidas por el Mediterráneo oriental, el norte de la India y China. En 650 a. C. aún había sólo veinte ciudades de este tamaño, con una población total que no llegaba todavía al millón de habitantes. Pero en 430 a. C. había ya más de cincuenta, con una población total de 2,9 millones, y en 100 d. C. más de setenta, con una población total de 5,2 millones de habitantes. El revés demográfico del I milenio d. C. nos da a entender que ésta fue la cota más alta a la que llegó la expansión urbana hasta el II milenio. En 1000 d. C. no había más poblaciones ni más habitantes que en 1 d. C.

TABLA 10.6. TENDENCIAS A LARGO PLAZO DE LA EXPANSIÓN URBANA EN AFROEURASIA.

<i>Fecha</i>	<i>Ciudades grandes</i>	<i>Habitantes/ciudad</i>	<i>Población urbana total</i>
2250 a.C.	8	c. 30.000	240.000
1600	13	24.000-100.000	459.000
1200	16	24.000-50.000	499.000
650	20	30.000-120.000	894.000
430	51	30.000-200.000	2.877.000
100 d.C.	75	30.000-450.000	5.181.000
500	47	40.000-400.000	3.892.000
800	56	40.000-700.000	5.237.000
1000	70	40.000-450.000	5.629.000
1300	75	40.000-432.000	6.224.000
1500	75	45.000-672.000	7.454.000

FUENTES: Stephen K. Sanderson, «Expanding World Commercialization: The Link Between World Systems and Civilizations», en Stephen K. Sanderson, ed., *Civilizations and World Systems: Studying World-Historical Change*, Altamira Press, Walnut Creek (California), 1995, p. 267, basado en Tertius Chandler, *Four Thousand Years of Urban Growth: An Historical Census*, St. David's University Press, Lewinston (Nueva York), 1987, pp. 460-478.

Directa o indirectamente, la expansión urbana y la actividad estatal fomentaron el comercio a todos los niveles en la era de las civilizaciones agrarias. Los primeros gobiernos de Mesopotamia, Egipto y China intervinieron en la organización y gestión de los intercambios de mercancías tanto de primera necesidad como de lujo. A mediados del III milenio, los gobiernos y los templos comerciaban intensamente, se

servían del oro y la plata para llevar la contabilidad y en ocasiones hacían incluso de prestamistas (con interés) y banqueros. En términos generales, los intercambios comerciales prosperaron en las áreas donde los métodos exactores no funcionaban bien^[61]. En consecuencia, los estados tenían que negociar allí donde había bienes muy estimados o muy estratégicos de los que sus ejércitos no podían apoderarse. En estos casos, como dice William McNeill, «los gobernantes y los poderosos tenían que aprender a tratar a los propietarios de estos bienes como si fueran sus iguales, reemplazando los métodos y actitudes autoritarios por los de la diplomacia^[62]». Pero la expansión militar, a pesar de la brutalidad que entrañaba, también podía representar un poderoso estímulo para el intercambio comercial e intelectual. Por ejemplo, las conquistas de las dinastías aqueménidas y helenísticas promovieron los intercambios comerciales e intelectuales que llegaban desde Asia central hasta el Mediterráneo occidental, pasando por la India. La expansión que se vivió en China con las dinastías Han y Tang tuvo un efecto catalizador parecido. El sedimento intelectual dejado por estos intercambios determinó las tradiciones culturales de los mundos persa, indostánico, chino y mediterráneo^[63].

En las redes comerciales locales, demasiado pequeñas para interesar a los caciques exactores, los vendedores ambulantes, los vendedores de mercado y los campesinos sabían negociar mejor que las burocracias gubernamentales los intercambios de escasa entidad. Así pues, ya en los comienzos de las civilizaciones agrarias había mercados competitivos. Y lo mismo cabe decir de los comerciantes, aunque en los primeros estados solían trabajar en estrecha relación con los gobiernos y tenían una categoría social no muy inferior a la de los altos funcionarios^[64]. Los testimonios procedentes de ciudades como Ebla y Mari revelan que a comienzos del II milenio a. C. había empresas comerciales independientes en Mesopotamia, aunque sus operaciones estaban probablemente bajo la supervisión del gobierno o dependían de sus permisos^[65].

En el II milenio el comercio fue lo bastante intenso para que en algunas regiones constituyera una base económica más importante que la exacción para las ciudades-estado pequeñas. Podríamos tener un ejemplo temprano de estos estados en la ciudad de Ebla, en el norte de Siria, que floreció en la época de Sargón. Los notables textos cuneiformes de Ebla, que contienen detalladas operaciones comerciales y reflejan la participación del estado en el comercio, no se descubrieron hasta 1974. Los documentos de la ciudad-estado de Kanesh (hoy Kül-tepe), una población comercial del centro de Anatolia, también contienen detalles sobre mercados, precios y sistemas de crédito de comienzos del II milenio a. C.^[66]. Un caso más conocido de la primera mitad del II milenio a. C. es el estado minoico, centrado en la isla de Creta, que dominó las redes comerciales y conectó las regiones agrícolas de toda la cuenca mediterránea. En Asia central apareció por las mismas fechas un próspero sistema de ciudades comerciales, la llamada civilización de Oxus. Entre los ejemplos posteriores

de formas de gobierno basadas en el comercio cabe citar la Micenas griega, que desde 1400 a. C. heredó las redes comerciales minoicas; las ciudades fenicias, como Tiro y Sidón (en el Líbano actual); y los griegos del período arcaico, ya a comienzos del I milenio. También hay que citar las ciudades-estado de África oriental, la costa de la India y el sureste asiático. Las ciudades-estado comerciales de la cuenca mediterránea fundaron redes de colonias, los griegos sobre todo en las costas de la franja septentrional, los fenicios sobre todo en las costas meridionales. La colonia fenicia más importante fue Cartago (en la Túnez actual), fundada por Tiro en 814 a. C.

Las redes comerciales afroeuroasiáticas se extendieron rápidamente después de 1000 a. C. En Eurasia occidental, las mercancías como la plata habían funcionado informalmente como dinero desde el III milenio, mientras que las conchas de cauri y las telas desempeñaron un papel parecido en China por lo menos desde mediados del II milenio^[67]. La moneda propiamente dicha, con su valor impreso encima, no apareció hasta mediados del I milenio a. C. Ya en el siglo VII circulaban monedas en Anatolia y es posible que en el norte de China aparecieran en fecha igual de temprana; en el siglo IV a. C. ya había monedas en las principales regiones de civilización agraria de Eurasia. Esta innovación simplificó mucho los intercambios comerciales. Igualmente decisiva fue la aparición, también a mediados del I milenio, de activos intercambios comerciales entre Eurasia oriental, meridional y occidental, tanto por mar como por tierra^[68]. Los estados, al principio, desempeñaron un papel vital en el fomento del comercio por estas rutas y en la protección de sus mercaderes. Este hecho se aprecia en la China Han, que se expandió hacia Asia central con grandes desembolsos durante el reinado del emperador Wudi, a finales del siglo II a. C. Sin embargo, el acarreo de mercancías se dejaba por lo general en manos de los comerciantes, que las transportaban por turnos —a menudo con la ayuda y la protección de los pastores nómadas o de las potencias navales locales— de un extremo a otro de Afroeurasia.

Como diría cualquier manual de economía elemental, el comercio, impulsado en mercados competitivos por agentes con libertad para beneficiarse en las transacciones, puede constituir un aliciente poderoso para la innovación. En un medio competitivo donde no hay lugar para la coacción directa, la reducción de los gastos suele ser el medio más efectivo de competir con los rivales; así, los comerciantes tendrán buenas razones para mantener bajos los precios si optimizan los resultados. Y por lo general tenían que tener información para bajar los precios, porque sus amplios contactos podían avisarles de la aparición de medios nuevos y más eficaces de hacer las transacciones. De estas normas generales se sigue que es muy probable que la actividad comercial fomente la innovación que permita la reducción de los gastos y eleve los niveles de productividad en las regiones donde los mercados son realmente competitivos y donde la actividad comercial está relativamente libre del control de

grupos exactores, que solían estar más interesados por robar riqueza que por generarla.

Hay dos modelos zonales que destacan en este aspecto en las civilizaciones agrarias. En las regiones periféricas o en las regiones de civilización agraria donde la presión fiscal era muy ligera, los campesinos podían beneficiarse de las innovaciones que elevaban la productividad, porque por lo general podían conservar los excedentes que generaban. En la edad clásica, los productores rurales de las tierras «bárbaras» del norte de Europa tenían más independencia que los del imperio romano y solían estar predispuestos a la experimentación. En realidad, muchas técnicas nuevas aparecieron en estas comunidades. Por ejemplo, los autores romanos atribuían a los celtas «la invención del esmalte, de la rueda de radios, del jabón, de aperos de labranza perfeccionados y de técnicas metalúrgicas avanzadas^[69]». La introducción del centeno en Europa oriental posibilitó, con el paso del tiempo, la colonización de las tierras que luego fueron la Rusia europea, que no estaban preparadas para los cultivos tradicionales del Mediterráneo o de la Europa occidental. Las comunidades de agricultores como las de los godos se dedicaban en ocasiones a alternar el pillaje con el comercio, sobre todo en las fronteras del decadente imperio romano. Pero era muy probable que incluso los campesinos de los estados agrícolas se interesasen más por elevar la productividad cuando tenían libre acceso a la tierra y no soportaban regímenes fiscales pesados. Los elevadísimos niveles de producción agrícola que hubo en China en los siglos que precedieron a la era moderna sin duda tuvieron que ver con el hecho de que sus impuestos solían ser moderados (porque los gobiernos chinos no pasaban tanto tiempo guerreando como los estados europeos contemporáneos) y de que la proporción de campesinos que poseían la tierra era elevada^[70].

El otro modelo de zona donde tendía a aumentar la potencialidad del comercio para elevar la productividad era el de las regiones de pequeños estados exactores próximos a los ejes de los sistemas comerciales regionales. Dado que eran pequeños, estos estados tenían ingresos limitados. Pero cuando estaban cerca de sistemas imperiales con redes comerciales florecientes, sus gobernantes colaboraban a veces con los comerciantes locales para obtener ingresos adicionales del comercio. Es probable que los mercados de estas regiones fueran realmente competitivos, porque las posibilidades de sobrevivir exclusivamente de los ingresos fiscales eran menores para los estados pequeños que para los grandes levianos exactores. En realidad, los verdaderos motores de la innovación en la era de las civilizaciones agrarias fueron a menudo las regiones de ciudades-estado o estados minúsculos que estaban cerca de los ejes de las redes regionales de intercambio. Si se daba además la circunstancia de que estos estados se encontraban en regiones de gran rivalidad interestatal, el incentivo de buscar fórmulas mixtas de ingresos comerciales e ingresos fiscales era particularmente poderoso. Y los que prosperaban con el comercio, a veces se las ingenian para meter la mano en abundantes caudales de riqueza e información.

Gracias a esta actitud, ciertos estados pequeños, como la Atenas clásica o la Génova y la Venecia del Renacimiento, llegaron a ser grandes potencias, a pesar de sus limitados recursos interiores.

Como ha señalado Anthony Giddens, los pequeños estados mercantiles de la era de las civilizaciones agrarias solían aparecer, no como entidades aisladas, sino como sistemas enteros, por lo general muy competitivos y en los que los comerciantes solían gozar de una posición social superior a la de los comerciantes de los estados exactores^[71]. Estas regiones eran especialmente propensas a ensayar innovaciones, sobre todo en los métodos comerciales, los transportes y la guerra. No es de extrañar que los primeros alfabetos sean fenicios, ni que las matemáticas modernas y la falange militar clásica deban tanto a las ciudades-estado griegas, ni que las ciudades comerciales del Asia central islámica se esforzaran tanto por conservar el patrimonio científico y técnico del mundo clásico, ni que las técnicas comerciales modernas tengan una deuda tan elevada con las ciudades-estado de la Italia renacentista^[72].

La expansión urbana y la comercialización fomentaron la acumulación de riqueza, la acumulación de ideas, de tecnologías y métodos nuevos de hacer las cosas. Pero el aumento de la actividad comercial, a semejanza del estado, podía debilitar el desarrollo, sobre todo a causa de la dinámica de las enfermedades. Casi todas las ciudades precapitalistas eran lugares infectos; la suciedad y el hacinamiento favorecían hasta tal punto la proliferación de microbios patógenos que los habitantes de las ciudades solían tener una esperanza de vida inferior a la de los aldeanos. Las ciudades, hasta el siglo XII, fueron como agujeros negros sociales que absorbían y destruían los excedentes demográficos del sector rural. Así, el mismo proceso de consolidación urbana obstaculizaba el crecimiento demográfico y más cuando las ciudades crecieron más aprisa. Como hemos visto, las redes comerciales en expansión pudieron producir el mismo efecto, pero a escala mucho mayor, al fomentar el intercambio de enfermedades. Por este motivo no podemos tomar la expansión urbana y la comercial como medidas inequívocas del desarrollo, aunque suelen ser indicadoras del aumento de la innovación.

Por último, las posibilidades de que la actividad comercial fomentara la innovación estuvieron coartadas, durante toda la era de las civilizaciones agrarias, por los métodos fiscales de los estados exactores poderosos. Aunque los estados exactores toleraban normalmente el comercio y a veces lo fomentaban, sus métodos de rapiña y su tendencia a emplear la fuerza fueron amenazas omnipresentes para las libertades necesarias para que prosperase el comercio. Por lo tanto hubo un conflicto fundamental a largo plazo entre los métodos de los exactores y los de los comerciantes: y mientras las minorías exactoras dominaron los sistemas políticos, el conflicto limitó el potencial del comercio para elevar la productividad.

Hemos visto que el crecimiento demográfico, el aumento del poder estatal y la comercialización creciente fomentaron las innovaciones y el desarrollo en la era de las civilizaciones agrarias. Pero cada uno de estos factores podía también frenar la acumulación. Esta conducta contradictoria podría explicar algunos rasgos generales de la era de las civilizaciones agrarias. Primero: a pesar de la existencia de nuevas fuentes de innovación, los índices del crecimiento demográfico a largo plazo no fueron muy diferentes de los de la era agraria temprana. El efecto negativo de los estados exactores y demasiado depredadores y de los últimos comportamientos de las enfermedades contrarrestó los efectos más positivos del crecimiento demográfico, el aumento del poder estatal y la expansión comercial. Segundo: el ritmo de las innovaciones fue muy lento durante toda la era. Hubo innovaciones en muchos sectores, como es lógico, en la administración pública, en la educación, en la guerra, en las comunicaciones, en la metalurgia. Además, el aumento del comercio permitió que tecnologías como la metalurgia del bronce o el hierro, la equitación o la guerra con carros se difundieran por toda Afroeurasia. Sin embargo, es asombroso que en los 4000 años que duró esta era fuesen tan limitadas las innovaciones, sobre todo en lo que se refiere a las tecnologías *productivas*, en métodos de agricultura y manufactura. Para terminar, es precisamente esta pauta de desarrollo lento lo que explica el ritmo malthusiano básico de auge y decadencia que al parecer fue la característica de todas las civilizaciones agrarias. En general, en esta era hubo tecnologías radicalmente nuevas que contribuyeron menos a la acumulación que a la difusión gradual de pequeñas mejoras de tecnologías ya existentes, como las de la revolución de los productos secundarios, ya ensayadas en la primera era agraria.

RESUMEN

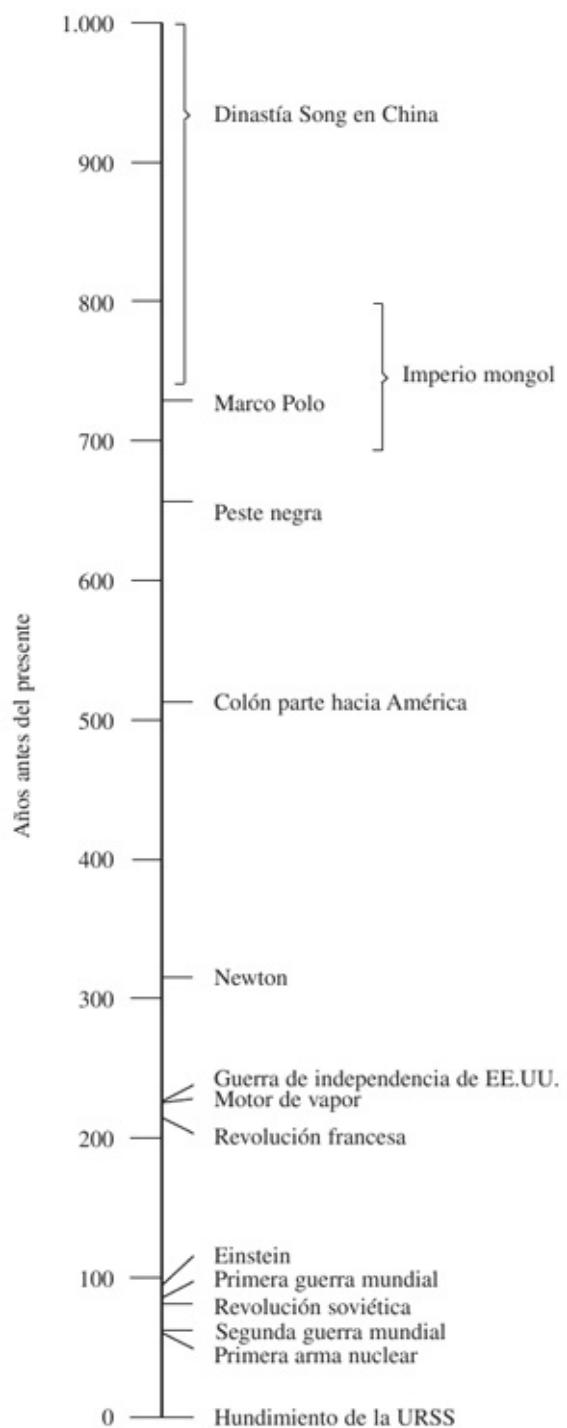
Las civilizaciones agrarias han sido las protagonistas principales de las historias contadas por la historiografía moderna. Desde que aparecieron, hace unos 5000 años, se expandieron lentamente y fueron adquiriendo poder. Aunque nunca estuvieron solas —compartían el mundo con comunidades de muchas clases, no organizadas en estados—, al final fueron las organizaciones sociales más pobladas y más poderosas del mundo. Su poder aumentó conforme aparecían más estados, mejoraban las técnicas de gestión y aumentaba el territorio dominado por los estados. Su tamaño, más el alcance y volumen de los intercambios dentro de las civilizaciones agrarias y entre ellas, permitió que siguiera habiendo innovaciones durante todo el período. Los principales motores de innovación fueron el crecimiento demográfico, la actividad estatal, el aumento de la actividad comercial y la expansión de las ciudades. Pero estos mecanismos por separado podían asimismo frenar la innovación. Según entraban en contacto las poblaciones regionales, intercambiaban enfermedades que en ocasiones desencadenaban epidemias catastróficas que minaban el poder estatal y

producían decadencias regionales. Los estados exactores dependían sobre todo de la obtención coercitiva de recursos y solían tratar la actividad empresarial con ambivalencia u hostilidad. Sin embargo, la actividad empresarial fue por sí sola uno de los motores de innovación más importantes. También las ciudades fueron centros de intercambio informativo y comercial, pero sus insalubres condiciones redujeron el crecimiento demográfico y propagaron enfermedades. Las actividades de las civilizaciones agrarias fomentaron pero frenaron la innovación por todos estos medios. Estas influencias contradictorias tuvieron un resultado contradictorio: aunque la historia de las civilizaciones agrarias se caracterizó por producir innovaciones de muchas clases, en ningún lugar hubo innovación suficiente para seguir el ritmo del crecimiento demográfico. Por eso hemos dicho que los ritmos de cambio histórico de este período estuvieron determinados por ciclos malthusianos: largos períodos de crecimiento demográfico, comercial y económico, seguidos por períodos de decadencia, hasta que se reanuda el crecimiento.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

La era de las civilizaciones agrarias ha recibido mucha atención académica, pero muy poca se ha concentrado en las tendencias a largo plazo. Entre los trabajos que las estudian están los notables artículos de Rein Taagepera y los títulos de la escuela de los «sistemas mundiales», de Stephen K. Sanderson, André Gunder Frank y Barry Gills, y Christopher Chase-Dunne y Thomas Hill, que se citan en la bibliografía. También hay que mencionar los numerosos manuales de historia universal que hay en la actualidad, muchos de los cuales estudian el período *c. 3000 a. C.-1500 d. C.* Entre los más notables señalo Jerry Bentley y Herbert Ziegler, *Traditions and Encounters*, 2 vols., 2003²; Richard Bulliet *et al.*, *The Earth and Its Peoples*, 1997; y Howard Spodek, *The World's History*, 2001². También hay buenos resúmenes en el clásico de William McNeill, *La civilización de Occidente* (1963), y en los vols. 3 y 4 de la colección histórica preparada por Göran Burenhult, *The Illustrated History of Humankind*, 1994. Michael Mann, *Las fuentes del poder social* (1986), repasa la historia del poder estatal, mientras que Tertius Chandler, *Four Thousand Years of Urban Growth* (1987), describe la de la expansión urbana. Para terminar, algunos sociólogos de la historia, como Anthony Giddens (véase sobre todo *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, 1995², y su continuación, *The Nation-State and Violence*, 1985) y Michael Mann, se han ocupado de algunos temas repasados en este capítulo.

Quinta parte
LA ERA MODERNA
UN SOLO MUNDO



DURACIÓN 11.1. La escala de la modernidad: 1000 años.

Capítulo 11

INTRODUCCIÓN A LA MODERNIDAD

En los últimos mil años, y sobre todo en los últimos siglos, ha habido una transformación más rápida y fundamental que ninguna otra en la historia humana. Se ha cruzado otro umbral que ha conducido a un modelo de sociedad completamente nuevo. Como ha dicho Anthony Giddens, «En un período de no más de trescientos años a lo sumo, la rapidez, espectacularidad y alcance del cambio han sido incomparablemente mayores que en todas las transformaciones históricas anteriores. El orden social [...] iniciado con el advenimiento de la modernidad no es sólo la acentuación de las tendencias de desarrollo preexistentes. En ciertos aspectos fundamentales y que se pueden concretar, se trata de algo nuevo^[1]». El cambio no es importante sólo para los humanos; es un acontecimiento de trascendencia planetaria porque el impacto de los humanos en la biosfera tiene hoy dimensiones completamente nuevas^[2].

Dado que vivimos en medio de esta transformación, nos cuesta ver sus rasgos con claridad y objetividad. Para describirla nos contentaremos, pues, con una etiqueta voluntariamente vaga: «la revolución moderna».

EL MUNDO EN VÍSPERAS DE LA MODERNIDAD

Para comprender la escala y la trascendencia de la revolución moderna tal vez nos resulta útil hacer un viaje imaginario por el mundo en vísperas de la modernidad, durante los primeros siglos del II milenio d. C.

En *Europa y la gente sin historia* (1982), Eric Wolf conduce de la mano al lector por el mundo de 1400^[3]. Esta perspectiva general nos recuerda que en una fecha tan tardía había aún una gran área del mundo que no formaba parte de las regiones de civilización agraria. Aunque habían estado invadiendo de manera sistemática las tierras de los agricultores independientes, de los pastores e incluso de los cazadores-recolectores, en el año 1000 d. C. las civilizaciones agrarias seguían controlando menos del 15 por 100 de las tierras ocupadas por los estados modernos. En consecuencia no podemos remontar a la era agraria el efecto devastador que han tenido los estados modernos en las comunidades sin estado en los últimos 500 años. En la práctica, las comunidades sin estado, como las de los agricultores de Europa septentrional o de Manchuria, o los pastores de Mongolia y de las estepas escitas, aún podían plantear serios problemas militares a los imperios agrarios más poderosos. Por otra parte, las relaciones entre los diferentes tipos de comunidad estaban determinadas tanto por los intercambios como por los conflictos. Los pastores

nómadas cambiaban caballos y pieles curtidas por sedas o vinos de producción urbana; los cazadores-recolectores de Siberia cambiaban colmillos de morsa o pieles sin curtir por objetos metálicos; y los horticultores de las selvas centroamericanas o del África tropical cambiaban oro, plumas, pieles de jaguar y esclavos por mercancías de producción urbana. Y al contrario: los estados, desde China hasta Roma, necesitaban los caballos y a los mercenarios de las estepas; sus mercaderes comerciaban con las estepas y en ellas, y con las regiones boscosas de más allá. También las ciudades americanas tenían que comerciar con y en regiones controladas por comunidades sin estructuras estatales, y por rutas que las unían a comunidades perdidas en la selva.

Las categorías analíticas nos inducen a creer que cada estilo de vida era como un mundo propio, pero, según Wolf, esto es una ilusión: «En el mundo de 1400, todas las comunidades existentes estaban interrelacionadas. Grupos que se proclamaban culturalmente distintos estaban vinculados por el parentesco o por lealtades ceremoniales; los estados se expandían e integraban a otros pueblos en estructuras políticas más amplias; los grupos privilegiados se sucedían, se hacían con el control de poblaciones agrícolas y fundaban órdenes políticos y simbólicos de nuevo cuño^[4]».

Los grupos privilegiados de las civilizaciones agrarias solían considerar «bárbaros» a los que vivían fuera de sus fronteras (y a muchos que vivían dentro). Los bárbaros eran los cazadores-recolectores, los pastores, los horticultores y los pequeños agricultores, que solían practicar formas seminómadas de agricultura de rozas y todavía cazaban y recogían parte de sus productos. En las redes que unían estos mundos operaban mercaderes de variado pelaje, unos despiadados y carroñeros, otros más dados a la negociación. La mayoría la población vivía aún en comunidades pequeñas. Y aquí el parentesco era más importante que el poder del estado. También era así para los aldeanos, que eran el estrato social más numeroso y producían la mayor parte de los recursos de las civilizaciones agrarias. Como es lógico, los aldeanos no podían encogerse de hombros ante la opresiva carga que representaban los caciques o los recaudadores de impuestos, ni ante la llegada de ejércitos que solían llevar consigo muerte, enfermedades o esclavitud. Pero en casi todas las unidades familiares, y durante la mayor parte del tiempo, lo importante era la familia, la parentela y los vecinos.

En una vasta zona fronteriza que se extendía lejos de las regiones de la civilización agraria había comunidades de agricultores organizadas en aldeas que a menudo tenían un jefe nombrado por cuestiones de parentesco. Algunas de estas comunidades estaban muy cerca de tener forma estatal. Buena parte de la cuenca del Amazonas estaba habitada por pequeñas comunidades de horticultores que también se dedicaban a la caza y la recolección. En América del Norte, en la cuenca del río Mississippi, había comunidades de agricultores, densamente pobladas y estructuradas casi como los estados. Es posible que ciertos yacimientos de la cultura del

Mississippi, como Cahokia, cerca de San Luis, correspondan a localidades donde probablemente llegaron a vivir más de 30 000 personas. Cahokia fue un gran centro ceremonial y político, con unos cien montículos de tierra. Algunos elementos de la cultura del Mississippi sobrevivieron hasta el siglo XVI, aunque las localidades más grandes como Cahokia hacía tiempo que habían desaparecido; y las comunidades supervivientes fueron diezmadas por las enfermedades euroasiáticas cuando entraron en contacto con los europeos. Pese a todo, conservamos el testimonio directo de un explorador francés, Le Page du Pratz, que vivió una breve temporada entre las tribus natchez del valle del Mississippi. Según el resumen de Brian Fagan: «Vio una sociedad rígidamente estratificada —dividida en nobles y plebeyos y capitaneada por un cacique al que llamaban el Gran Sol— cuyos miembros vivían en un poblado de nueve casas y un templo construido en la cima de un montículo de tierra. Pratz presenció el entierro del Gran Sol. Sus esposas, parientes y criados fueron narcotizados y apaleados para que le hicieran compañía en la muerte^[5]».

También en buena parte de África occidental y central podían verse comunidades grandes de agricultores. En ciertas regiones, por ejemplo en lo que hoy es Zimbabwe, o en las tierras situadas al norte de la Ghana actual, hubo sistemas estatales, desde mediados del I milenio d. C. e incluso antes, que se sostenían gracias a la elevada densidad demográfica y a grandes redes comerciales. Los estados de África occidental dependían básicamente de su control sobre las redes comerciales y en particular del tráfico del oro que cruzaba el Sahara y llegaba al Mediterráneo, cerca del Marruecos actual, o a Egipto y al mundo islámico. Los estados que surgieron en África oriental y central comerciaban con ciudades costeras cuyos mercaderes musulmanes transportaban artículos (sobre todo oro y esclavos) al mundo islámico y al sur y el sureste de Asia. En el siglo XIV, la flota china que zarpó a las órdenes del eunuco musulmán Yeng Hi llegó a las costas orientales de África. Pero estas expediciones sólo suponían una novedad si eliminaban a los intermediarios de las redes comerciales tradicionales. En China hubo esclavos africanos por lo menos desde el siglo VII d. C. y, según Wolf, «en 1119 se decía que casi todos los ricos de Cantón habían tenido esclavos negros^[6]».

El norte de Europa también proporcionó esclavos a las civilizaciones agrarias cercanas, y gran parte de Europa siguió siendo un mundo de agricultores sin estado hasta finales del I milenio d. C. Estas regiones, aunque carecían de los grandes ejércitos permanentes de los imperios agrarios, podían resultar peligrosas para sus vecinos «civilizados». Fue así especialmente allí donde la riqueza de las civilizaciones agrarias despertaba la emulación y el deseo de conquista. Los bárbaros godos fundaron dinastías entre los restos del imperio romano en los siglos V y VI d. C. y ya desde el siglo IV hubo dinastías manchúes que fundaron estados en China septentrional, sin olvidar la última dinastía de la China premoderna, la T'sing o «manchú» (1644-1911). Estos conflictos fomentaron la difusión de las estructuras

estatales fuera de las fronteras establecidas de las civilizaciones agrarias. A mediados del I milenio d. C. empezaron a aparecer estados por todo el norte de Europa. Las poblaciones agrícolas de Europa oriental se expandieron con rapidez y emigraron a lo que hoy son Ucrania y Rusia; así pues, también en gran parte de Europa oriental hubo estados hacia finales del milenio.

Las civilizaciones agrarias del Nuevo Mundo no estuvieron más a salvo de los «bárbaros» más próximos. Varias ciudades grandes de Mesoamérica, como Teotihuacán y Tula, sufrieron invasiones devastadoras de comunidades del norte con las que ya tenían lazos culturales y comerciales. La historia de los aztecas refleja la de los godos. Llamados mexicas al principio, los antepasados de los aztecas procedían de comunidades de horticultores o recolectores del norte del valle de México, influidos en múltiples aspectos por el legado cultural de México central. Los aztecas se trasladaron al valle de México, donde vivieron en las zonas periféricas, entre las principales ciudades-estado de la región. En el siglo XIV empezaron a ofrecerse como mercenarios, hasta que en 1428 derrocaron a sus señores y fundaron una dinastía propia^[7]. También en el sureste asiático y en las fronteras de la creciente China hubo grandes regiones de comunidades de agricultores sin estado. Las comunidades más aisladas eran las que estaban en las islas de Melanesia y Polinesia.

En Afroeurasia había otra importante clase de frontera: entre regiones agrícolas y regiones de pastoreo. Los pastores vivían en tierras demasiado áridas para soportar la densidad de las poblaciones agrícolas. Estas tierras formaban una franja que iba desde Mongolia hasta el Sahara y el sur de África oriental, pasando por las estepas de Eurasia interior, Irán y Mesopotamia^[8]. El pastoreo del caballo, la cabra, la oveja y el camello era el más extendido por los áridos desiertos y estepas de Eurasia. El pastoreo del camello era importante sobre todo en el centro de Arabia y en el desierto del Sahara. En gran parte de África central y oriental había comunidades grandes de pastores-ganaderos. Las comunidades de pastores solían consistir en grupos basados en el parentesco y organizados en clanes, tribus y, ocasionalmente (sobre todo en épocas de conflicto generalizado), alianzas intertribales. En épocas de paz, los pastores viajaban por rutas migratorias ya establecidas en grupos pequeños de unidades familiares. O levantaban tiendas cada vez que fijaban un campamento o viajaban en viviendas móviles cubiertas. El autor griego conocido por Pseudo Hipócrates describe los carromatos utilizados por los escitas del norte del mar Negro hace más de dos mil años: «Los más ligeros tenían cuatro ruedas, pero algunos tenían seis, y tienen una protección de fieltro. Están construidos como las casas, unos con dos habitaciones y otros con tres, y resisten la lluvia, la nieve y el viento. Tiran de ellos dos o tres yuntas de bueyes sin cuernos; sin cuernos a causa del frío. Las mujeres viven en estos carromatos mientras los hombres van a caballo, y detrás van las manadas de lo que tengan, bueyes o caballos^[9]».

Los pastores causaron un efecto trascendental en las comunidades próximas a ellos, dado que su productividad limitada y su gran movilidad les impulsaban a

comerciar con los agricultores o los cazadores-recolectores, aunque su destreza militar daba a entender que el saqueo era con frecuencia una alternativa más fructífera que el comercio. Sus ataques obligaron a tomar medidas defensivas y fomentaron la construcción de murallas desde el norte de China hasta los Balcanes, pasando por Asia central^[10]. Los pastores montados de las estepas de Eurasia interior venían organizándose en poderosas alianzas militares tal vez ya desde el II milenio a. C. Como las estepas sólo permitían alimentar poblaciones pequeñas, estas alianzas podían convertirse en estructuras más duraderas cuando gracias a ellas se conseguía robar en abundancia a las civilizaciones agrarias más próximas; los ejércitos de pastores más poderosos se formaron pues en las rutas comerciales o en las fronteras con vecinos agricultores. Algunas de estas estructuras merecen llamarse *estados*, a pesar de que se diferenciaban de los estados del mundo agrícola. No eran fruto del pastoreo, la agricultura o el comercio, sino una compleja trama de estas modalidades de vida^[11]. El imperio de pastores más conocido es el de Gengis Kan. Formado en el siglo XIII en campañas de conquista más espectaculares y duraderas que las de Alejandro Magno, el imperio mongol acabó dominando las estepas de Eurasia interior, casi todo Irán y toda China. Fue el primer sistema político que afectó a todas las regiones principales de Eurasia.

Las fronteras entre las civilizaciones agrarias y las comunidades de pastores han sido probablemente las más activas y complejas de todas las zonas fronterizas. En ellas, quizás más que en el resto del mundo, podemos ver las potentes sinergias intelectuales que podían generarse cuando comunidades de tecnología y modo de vida diferente intercambiaban ideas, mercancías y personas de manera habitual. Y estos intercambios hicieron de estas fronteras un poderoso motor de innovación en toda la zona mundial afroeuroasiática. Por ellas pasaron tecnologías nuevas, como las relacionadas con la equitación, la metalurgia y la guerra, así como ideas religiosas, el chamanismo, el budismo, el islamismo, el cristianismo. También transmitieron enfermedades, genes e idiomas. Las lenguas indoeuropeas, procedentes tal vez de la Rusia actual, llegaron hasta las fronteras de China, a la India, a Mesopotamia y a Europa, a hombros de pastores emigrantes. En los ejércitos de las civilizaciones agrarias solía haber unidades de caballería procedentes de las estepas. Y los jefes pastores, desde los partos hasta los mongoles, pasando por los selyúcidas, fundaron dinastías sólidas en las fronteras y luego avanzaron hacia las ciudades.

Las comunidades de cazadores-recolectores, basadas en el parentesco, más pequeñas y menos poderosas, estaban repartidas por gran parte de Siberia, por las costas del Ártico, en ciertos puntos de África, en gran parte de América del Norte, en gran parte de la mitad meridional de América del Sur y en la cuenca del Amazonas, y por toda Australia. Su forma de vida variaba mucho de una comunidad a otra y ninguna generalización haría justicia a esta diversidad. No tenemos más remedio que hacer una semblanza verbal de un solo grupo.

Los janty y los mansi vivían en Siberia occidental, al este de los Urales. Hablaban lenguas lejanamente emparentadas con el finés y el húngaro modernos. En el siglo XVII, que es cuando los comerciantes y los soldados moscovitas entraron en su territorio, su población ascendía probablemente a 16 000 individuos. (Moscovia tenía a la sazón alrededor de 10 millones de habitantes, lo que sirve para recordarnos las grandes diferencias demográficas que había entre las comunidades agrícolas y las de cazadores-recolectores). Según los relatos de los viajeros moscovitas, los janty y los mansi vivían sobre todo de la caza y la pesca. Pero también imitaban algunas técnicas de sus vecinos. Ciertos clanes del sur plantaban cebada y tenían ganado vacuno y caballar, mientras que algunos clanes del norte se dedicaban al pastoreo de renos, como sus vecinos los samoyedos. Su vestimenta exterior era de piel de reno y alce, curtida o sin curtir, aunque algunos clanes llevaban además plumas y pieles de pescado. Algunos del sur incluso tejían prendas de vestir con fibras vegetales. La mayor parte de los janty y los mansi vivía en campamentos de invierno de carácter semipermanente; en verano se mudaban a las tierras de caza y pesca, y allí vivían en tiendas construidas con corteza de abedul. Viajaban por los abundantes ríos de su tierra natal en canoas de corteza de abedul cuando hacía buen tiempo y en invierno con esquíes. Los moscovitas los consideraban militarmente peligrosos, a pesar de su escaso número, ya que utilizaban corazas metálicas, arcos y lanzas de hierro.

La siguiente descripción de su forma de vida fue escrita en 1675 por un embajador moscovita en China. Como ocurre con todos los relatos de los viajeros cultos de las civilizaciones agrarias, por ellos acabamos sabiendo casi tanto de quien escribe como de la sociedad descrita:

Todos los ostiakos [janty] capturan grandes cantidades de peces. Unos se los comen crudos, otros los secan y los hierven, pero no conocen ni el pan ni la sal, nada salvo pescado y una raíz blanca llamada susak, de la cual recogen una porción en verano, la secan y se la comen en invierno. No toleran el pan; si alguno lo come hasta saciarse, muere. Viven en yurtas; y no pescan sólo para comer, sino para hacerse prendas de vestir con la piel, y botas y gorros que cosen con los tendones del pescado. Tienen las embarcaciones más ligeras que puedan hacerse, son de madera y en ellas caben cinco o seis hombres, incluso más. Siempre llevan consigo arcos y flechas, para poder entrar en combate en cualquier momento. Tienen multitud de esposas, todas las que quieren^[12].

Al igual que los janty y los mansi, muchas comunidades de cazadores-recolectores tuvieron contactos apreciables con comunidades mayores, con las que intercambiaban tecnologías y mercancías. Algunos sistemas de intercambio tenían miles de años de antigüedad. Entre ellos estaba el tráfico de artículos árticos, como los colmillos de morsa y pieles preciosas, que vinculaba a las comunidades siberianas de cazadoresrecolectores con comunidades de agricultores o pastores situadas al oeste o al sur e, indirectamente, con las ciudades de zonas más meridionales aún. Las grandes poblaciones agrícolas de la vertiente occidental de los Andes comerciaban con las comunidades sin estado de la vertiente oriental en busca de artículos de prestigio como las plumas, la coca y las pieles de jaguar, o iban tras el oro de la cuenca del Amazonas utilizando sistemas de intercambio indirecto en el que había

muchos intermediarios. Es posible que algunos cultivos adaptados de la zona occidental de América del Sur, como la batata y los cacahuetes, procedieran de las selvas tropicales de la cuenca del Amazonas^[13]. Estas relaciones comerciales permitían a veces a los jefes locales la construcción de sistemas políticos más poderosos de lo que habría sido posible por otros medios. Las confederaciones militares que se formaron en el noreste de América del Norte y en el sureste de Canadá en el siglo XVIII se consolidaron gracias a las armas y al licor que recibieron de Europa a cambio de pieles. No obstante, aunque estos intercambios tal vez parecieran equitativos al principio, a largo plazo resultaron perjudiciales para las comunidades indígenas. Las pieles incitaron al estado ruso a penetrar en Siberia, y los comerciantes franceses y británicos se adentraron en América del Norte con nefastas y perniciosas consecuencias para las muchas comunidades de cazadores recolectores y de horticultores con las que trataron.

Incluso la comunidad más perdida solía tener algún contacto con las comunidades agrícolas o practicaba alguna forma elemental de adaptación/domesticación. En siglos recientes, las comunidades de las costas noroccidentales de Australia recibían periódicamente la visita de comerciantes de las Célebes que cambiaban cristal, cerámica, tabaco y herramientas metálicas por el preciado cohombro de mar, que luego se vendía en el sureste asiático y en China como manjar y afrodisíaco.

De este modo y muchos otros, las comunidades de agricultores, de pastores y de cazadores-recolectores de uno y otro lado de las fronteras de las civilizaciones agrarias contribuían a perfilar su historia. Pero las relaciones de poder entre las civilizaciones agrarias y otras comunidades estuvieron mucho más equilibradas durante la mayor parte de la era agraria que en la era moderna. La heterogeneidad ecológica y cultural que podía encontrarse por todo el mundo habitado en el año 1000 d. C. fue una de las principales víctimas de la revolución moderna.

LA REVOLUCIÓN MODERNA

Muchos rasgos del mundo descrito más arriba llevaban existiendo desde hacía milenios; sin embargo, en el año 2000 d. C. casi todos habían desaparecido. El mundo de comienzos del siglo XXI es radicalmente distinto del mundo de hace setecientos u ochocientos años. La verdad es que las transformaciones causadas por la revolución moderna han sido tan omnímodas que cuesta recordar sectores de la vida que no se hayan transformado. Lo que sigue no es más que una lista de control de algunos de los cambios más importantes.

Crecimiento demográfico

El crecimiento demográfico se ha acelerado bruscamente, como se puede ver en la figura 11.1 o en la tabla 11.1. Un estudio realizado en 1960 para calcular la tendencia matemática de la población mundial en los últimos 2000 años llegó a la conclusión de que la demografía humana llegaría al infinito el viernes 13 de noviembre de 2026^[14]. Este cálculo (que llegó a llamarse «la ecuación del juicio final») nos recuerda que las tasas de crecimiento no se pueden sostener eternamente. En el año 1000 d. C., la población mundial era de unos 250 millones de habitantes. A finales del siglo xx se había multiplicado por 24 y llegaba a 6000 millones. Casi todo este crecimiento se produjo en la segunda mitad del II milenio. En 1500, la población mundial era de unos 460 millones; en 1800 era de 950 o, en cualquier caso, un poco inferior a 1000 millones; y en 1900 era de poco más de 1600 millones. En los ochocientos años transcurridos antes de 1800, la población se multiplicó por cuatro, mientras que en los dos siglos posteriores a 1800 se multiplicó por seis. En consecuencia, el tiempo de duplicación de la población mundial se redujo radicalmente, sobre todo en los dos últimos siglos (véase la tabla 6.3). Como se ve en la tabla 11.1, en los dos últimos la población creció en todo el mundo.

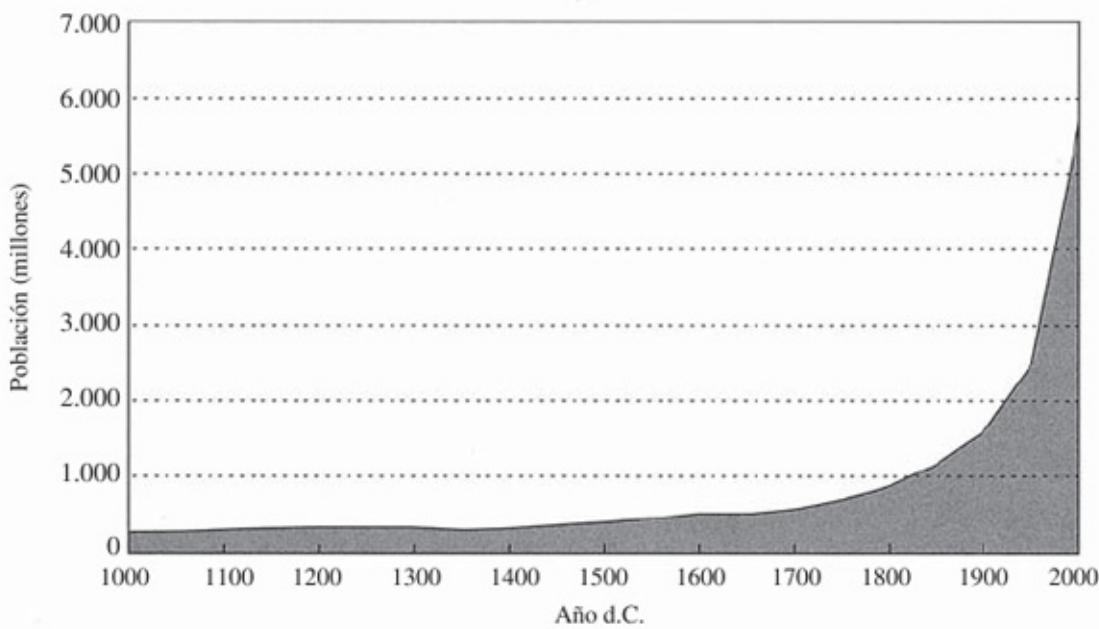


FIGURA 11.1. Población humana de 1000 a. C. al presente. Basado en la tabla 6.2.

La explosión demográfica que queda expuesta en la tabla 11.1 seguramente llegará a su techo en el siglo XXI. Aun así, es un fenómeno de trascendencia planetaria, porque ha afectado a la biosfera. En palabras de Lynn Margulis y Dorion Sagan, los humanos se han convertido en «una especie de cizaña mamífera^[15]». Carlo Cipolla comenta: «Al ver el diagrama que reflejaba el reciente crecimiento de la población mundial en una perspectiva de largo alcance, un biólogo dijo que le daba la impresión de estar viendo la curva de crecimiento de una población microbiana en un organismo repentinamente afectado por una enfermedad infecciosa. El hombre

“bacilo” se está apoderando del mundo^[16]». Una especie numerosa, la nuestra, ha adquirido una capacidad sin precedentes de desviar los recursos del planeta para su propio provecho. Como hemos visto, los humanos explotan actualmente por lo menos la cuarta parte de la energía que entra en la biosfera por la luz solar y la fotosíntesis (véase la p. 140). No es de extrañar que el crecimiento de la población humana se haya producido mientras el número de especies restantes descendía bruscamente.

Maestría tecnológica

Un crecimiento demográfico sostenido presupone un aumento de los recursos que permitan alimentar, vestir y cuidar de la población humana. Pero un crecimiento tan rápido exige algo más que un aumento de la tierra disponible; también necesita mayor productividad, lo que supone el aumento de los ritmos de innovación ecológica y tecnológica. Así pues, el rápido crecimiento demográfico ha estado asociado a (y en realidad ha sido posible por) un asombroso despliegue de maestría tecnológica. La innovación ha dejado de ser esporádica u ocasional en los dos últimos siglos; se ha vuelto general y omnipresente. Y no hay indicios de que esta fiebre de innovaciones vaya a acabarse. Lejos de ello, el ritmo de innovación a finales del siglo xx era más rápido que nunca.

Las nuevas tecnologías han afectado directamente a las tendencias demográficas; han mejorado la calidad del conocimiento y de la atención médicos y han hecho que los recién nacidos y los adultos vivan más tiempo. Pero el impacto indirecto ha sido mayor, porque han elevado bruscamente la productividad tanto en la agricultura como en la industria. La productividad de la agricultura ha cruzado el umbral decisivo que permite que una minoría que trabaja la tierra pueda alimentar a la mayoría que no la trabaja (véase la figura 9.3). Los cambios han sido más espectaculares en la producción industrial. Como ha dicho David Landes en una influyente historia de la revolución industrial,

En ciertos sectores se han conseguido mejoras en la productividad elevándola en miles de veces, por ejemplo en las máquinas y en el hilado [compárense los caballos con los reactores]. En otros sectores, las mejoras han sido menos impresionantes, pero sólo relativamente: del orden de varios centenares de puntos en la industria del tejido, la fundición del hierro o la fabricación de calzado. En otros sectores, sin embargo, ha habido pocos cambios: por ejemplo, un hombre todavía tarda en afeitarse aproximadamente el mismo tiempo que en el siglo XVIII^[17].

En el sector textil, que fue probablemente el segundo más importante en la producción de bienes de consumo del mundo premoderno, las tradicionales hilanderas indostánicas, que trabajaban a mano, tardaban 50 000 horas en hilar 50 kilos de algodón; la maquinaria inventada en Gran Bretaña permitió reducir la cantidad de horas a 300 en la última década del siglo xviii, y hacia 1830 bastaban 135 horas^[18]. Las nuevas tecnologías transformaron también los métodos de intercambio

de comunicación e información, posibilitando el aumento de la velocidad, la eficacia e incluso la extensión de las redes modernas de intercambio. Mientras que los mensajes del siglo XVIII viajaban a lo sumo a la velocidad de los barcos, o de los caballos que montaban los correos, el teléfono e Internet permiten hoy que millones de personas de cualquier punto del mundo se comuniquen de manera instantánea (véanse las tablas 10.3 y 10.4).

TABLA 11.1. POBLACIÓN MUNDIAL POR REGIONES, 400 A. C. –2000 D. C.

Año	Región (población en millones)								Mundo		
	Península ibérica	SO de Asia	Japón	Resto de Asia	Europa	URSS	N de África	Africa subsahariana	Amer. N. S.	Amer. C. y S.	Oceania
400 a.C.	19	30	42	1	3	19	13	10	7	1	153
300	30	42	47	1	3	22	13	12	8	1	187
200	40	55	52	1	4	25	14	14	9	2	225
100	55	50	50	1	4	28	13	14	10	2	237
0 d.C.	70	46	47	2	5	31	12	14	12	2	252
100	65	45	46	2	5	37	12	15	13	2	252
200	60	45	46	2	5	44	13	16	14	2	257
300	42	40	45	3	6	30	13	14	16	2	222
400	25	32	45	4	7	36	12	13	18	2	206
500	32	33	41	5	8	30	11	11	20	2	207
600	49	37	32	5	11	22	11	7	17	2	208
700	44	50	25	4	12	22	10	6	15	2	206

800	56	43	29	4	14	25	10	9	16	2	15	1	224
900	48	38	33	4	16	28	11	8	20	2	13	1	222
1000	56	40	33	4	19	30	13	9	30	2	16	1	253
1100	83	48	28	5	24	35	15	8	30	2	19	2	299
1200	124	69	27	7	31	49	17	8	40	3	23	2	400
1300	83	100	21	10	29	70	16	8	60	3	29	2	431
1400	70	74	19	9	29	52	13	8	60	3	36	2	375
1500	84	95	23	10	33	67	17	9	78	3	39	3	461
1600	110	145	30	11	42	89	22	9	104	3	10	3	578
1700	150	175	30	25	53	95	30	10	97	2	10	3	680
1800	330	180	28	25	68	146	49	10	92	5	19	2	954
1900	415	290	38	45	115	295	127	43	95	90	75	6	1.634
2000	1.262	1.327	181	127	680	514	290	151	659	313	516	30	6.057

FUENTES: J. R. Biraben, «Essai sur l'évolution du nombre des hommes», Population 34 (1979), p. 16; las cifras para 2000, aplicadas a áreas más o menos equivalentes, se basan en World Development Indicators, Banco Mundial, Washington D. C., 2002, tabla 1.1, «Size of the Economy», pp. 18-20.

Es posible que lo más importante de todo sea que las nuevas tecnologías han permitido a los humanos como especie la transposición de un umbral ecológico decisivo por el que tienen acceso a vastas fuentes de energía no explotadas hasta ahora y mucho mayores que las procedentes de las plantas, los animales y otros humanos. Las sociedades humanas ya no necesitan esperar que la fuerza física humana o animal, o la leña, el viento y el agua satisfagan sus necesidades energéticas. Para no depender de estas fuentes de energía solar de extracción reciente, los

humanos han empezado a explotar los vastos depósitos de la luz arcaica que se concentró en el carbón, en el petróleo y en el gas natural, motivo por el que no carece de lógica hablar de una «revolución de los combustibles fósiles». Aprender a utilizar el carbón y el petróleo para generar fuerza de vapor o electricidad ha sido como descubrir varios continentes preparados para la explotación humana. Como ha dicho Anthony Wrigley, para igualar con tecnología tradicional la energía extraída del carbón en Gran Bretaña alrededor de 1820 habría hecho falta un bosque con un área superior a toda la tierra británica de pastos y de labor^[19]. En términos generales, la cantidad de energía utilizada por las sociedades humanas se multiplicó por cinco en el siglo XIX y por dieciséis en el siglo XX. También aumentó el consumo de energía per cápita, que se multiplicó por cuatro o por cinco en el siglo XX^[20]. John McNeill sostiene que «sin duda hemos utilizado más energía desde 1900 que en toda la historia humana anterior^[21]» (véase la tabla 6.1). En general, la revolución de los combustibles fósiles produjo una bonanza impresionante, multiplicó seguramente por cien la energía total disponible para los humanos y posibilitó proyectos como el transporte del grano al otro lado del mundo, proyectos que habrían sido impensables antes, porque no estaban disponibles las tecnologías necesarias y los costes energéticos habrían sido prohibitivos. Por primera vez, por lo menos en los países más industrializados, la energía era casi gratuita. En este sentido, la revolución moderna fue como otros episodios de la historia humana en que un recurso nuevo se vuelve tan abundante que durante un tiempo parece inagotable. Así como la tierra, la caza y otros recursos parecieron ilimitados a los humanos que llegaron por primera vez a América, Australia o Nueva Zelanda, y el agua cuando comenzó a utilizarse el riego a gran escala, y la tierra y otros recursos a los europeos que llegaron a América y Australasia desde el siglo XVI en adelante, también fue una tentación pensar en la era del vapor, el carbón y el petróleo que los combustibles fósiles eran ilimitados y, efectivamente, gratuitos. El descubrimiento de recursos nuevos y abundantes suele estimular en todas las épocas el uso de métodos de explotación peligrosamente faltos de visión de futuro.

Aumento del poder político y militar

En relación con estos cambios demográficos y tecnológicos, ha habido transformaciones profundas en las estructuras sociales, políticas y militares. El volumen de recursos producidos por la economía moderna, más el nivel al que están concentradas en manos de minorías, nos da a entender que, aunque los estados modernos disponen de muchos más recursos que los premodernos, también tienen que defender mayores diferencias de riqueza y afrontar problemas organizativos infinitamente más complejos. A semejanza de las presas de los pantanos, su tamaño, su fuerza y su complejidad tienen que medirse en proporción con el volumen de

recursos acumulados tras ellos. Los estados de todo el mundo han adquirido, desde la Revolución francesa, la capacidad de regular la vida cotidiana de los súbditos por medios inimaginables en épocas anteriores. En realidad, su capacidad para mantener a los súbditos dentro de una tupida malla de normas jurídicas y administrativas nos ayuda a comprender por qué recurren mucho menos a los métodos terroristas de gobierno que eran normales en la era de las civilizaciones agrarias. Pero además de poseer estas nuevas facultades, los estados modernos pueden desencadenar violencia a una escala que tampoco tiene precedentes, porque la producción de armamento también ha aumentado con rapidez, tanto que los humanos tienen hoy el poder, si quisieran, de destruirse a sí mismos y buena parte de la biosfera en cuestión de horas.

Transformación de las formas de vida

La vida personal se ha transformado. Al final de la era agraria, casi todas las familias vivían en el campo y se dedicaban a la agricultura de pequeña escala. Los pequeños cultivos han desaparecido ya en muchas regiones y en las restantes están desapareciendo. Los pocos cazadores recolectores que quedan viven actualmente en tierras por lo general periféricas y con la oposición de los estados; antes o después tendrán que integrarse en las modernas redes jurídicas y económicas que minan las estructuras culturales y económicas tradicionales. También el pastoreo se ha vuelto insignificante. En unos cuantos siglos, la revolución moderna ha destruido o reducido a la marginación formas de vida que habían estado vigentes durante miles de años.

En vez de vivir de la tierra y producir su propio sustento, pues no otra cosa ha significado *trabajar* para la mayoría de los humanos en casi toda su historia, las familias modernas típicas viven en medios urbanos donde obtienen ingresos con una forma u otra de trabajo asalariado y compran alimentos producidos por otros. En 1980, alrededor del 65 por 100 de la población de las economías más industrializadas vivía en las ciudades, y a nivel mundial alrededor del 38 por 100; es probable que los niveles globales de expansión urbana crucen el umbral simbólico del 50 por 100 en el primer tramo del siglo XXI^[22]. La familia sigue siendo en las ciudades una unidad básica de consumo, pero ha dejado de ser una unidad fundamental de producción y la estructura básica en cuyo seno se hace vida social. La malla del parentesco se ha sustituido por la malla de la legislación estatal. Además, los nuevos métodos anticonceptivos, de criar a los niños, de educación y de asistencia social han producido una renegociación radical de los papeles de los sexos.

El sentido y la consistencia de la vida han cambiado. Se ha retrasado la muerte en las regiones ricas gracias a la mejor atención sanitaria. La esperanza de vida media en las regiones más ricas de finales del siglo XX era aproximadamente el doble de la que era común en las sociedades agrarias más prósperas, y quizás el triple de lo que era en las sociedades de la Edad de Piedra. En el año 2000 podía esperarse que un niño

nacido en Burkina Faso viviera entre 40 y 45 años, otro nacido en la India entre 62 y 63, y otro nacido en Estados Unidos entre 74 y 80 (véase la tabla 14.4). Los modernos de las sociedades más ricas tienen acceso a un nivel de salud física inconcebible en las sociedades anteriores. Sin embargo, en muchos aspectos los modernos trabajan más que los campesinos y los cazadores-recolectores de las sociedades anteriores. Y con la aparición del concepto moderno del tiempo de los relojes, trabajan de manera creciente a ritmos que no son los suyos^[23]. Por si fuera poco, está menos claro con qué fin trabajan. Mientras que los miembros de las unidades agrícolas autosuficientes o de las hordas de cazadores-recolectores sabían muy bien cuál era el «sentido» del trabajo, porque estaba directamente relacionado con su subsistencia, la relación es menos directa en el caso de los hiperespecializados trabajadores de las empresas y sociedades anónimas modernas. Para bien o para mal, la decadencia de las redes de parentesco y de los papeles sociales tradicionales ha privado a los ciudadanos modernos de la identidad perfectamente definida que les daba un objetivo y un lugar en muchas sociedades tradicionales. Los grandes movimientos de personal, débase al tráfico de esclavos, a las migraciones masivas o a los desplazamientos forzados, también han privado a muchos del sentido de lo colectivo que conocieron sus padres y sus abuelos.

En la actualidad, las relaciones personales son en general menos violentas en la mayoría de los países industrializados. En Inglaterra, por ejemplo, se cometen actualmente diez veces menos homicidios que hace ochocientos años y la mitad que hace trescientos. Este descenso se ha producido porque casi todos los estados modernos han desarmado a la población y monopolizado el uso de la violencia. Charles Tilly señala: «El desarme de la población civil se produjo en muchas pequeñas etapas: requisa general de armas al final de las revueltas, prohibición de los duelos, control de la producción de armas, implantación de los permisos privados de tenencia de armas, limitación de las exhibiciones públicas de grupos armados^[24]». Pero aunque son en general menos violentas, las relaciones personales en las modernas comunidades urbanas carecen de la intimidad y el sentido de la continuidad que tenían en casi todas las sociedades tradicionales. Son accidentales, anónimas y efímeras, y cada vez más. Estos cambios podrían ayudarnos a comprender la confusión de valores y significados que reina en la vida moderna, esa sutil y desorientadora mutación del carácter de la vida que el sociólogo Émile Durkheim llamó «anomia» a finales del siglo XIX.

El sociólogo alemán Norbert Elias ha defendido que estos cambios se han introducido en nuestra vida psíquica, y que las modernas formas de regular el trabajo y el tiempo, impuestas a través del mercado, han acabado por determinar nuestra conducta en las relaciones personales, los modales en la mesa y las actitudes ante la sexualidad. Según Elias, la «economía emocional» característica del mundo moderno surge de la relajación de las restricciones exteriores y de la intensificación de las restricciones interiores: «Las coacciones directamente resultantes de las amenazas

con armas y con la fuerza física se reducen gradualmente [...] y aumentan poco a poco las formas de dependencia que conducen a la regulación de los afectos [sentimientos o emociones] bajo la forma de autodominio^[25]». La interiorización de las nuevas formas de disciplina parece estar estrechamente relacionada con el concepto moderno del tiempo. Al crecer las poblaciones, y aumentar la proporción de personas que viven en centros urbanos, la planificación de las actividades diarias se ha orientado de manera paulatina hacia las actividades de otros humanos, en vez de ceñirse a los programas naturales del propio cuerpo, las estaciones, y el día y la noche. La creciente influencia de los calendarios y relojes modernos, y la aparición de convenciones como la línea del cambio de fecha y los husos horarios basados en la hora oficial de Greenwich (establecida en 1884), son los mejores ejemplos para ilustrar estos cambios, porque los calendarios y los relojes dan una medida exacta del tiempo social, aunque no del tiempo ecológico y el psíquico. Por consiguiente, señalan hasta qué punto han tenido los humanos que adaptar su conducta a una ecología que es social y no natural: una ecología cuyos elementos principales fueron creados por otros seres humanos. La revolución moderna ha permitido también el acceso de los consumidores a una gama mucho más amplia de sustancias que alteran la vida psíquica, un fenómeno que David Courtwright ha llamado «revolución psicoactiva^[26]». Estas sustancias, desde los opiáceos hasta el azúcar, pasando por el café y el té, han ayudado a millones de personas a soportar las exigencias e imperativos, en ocasiones rigurosos, de la vida moderna.

Nuevas modalidades de pensamiento

Las modalidades científicas de pensamiento características de la sociedad moderna han generado a la vez confianza y un distanciamiento generalizado. La ciencia moderna ha dado a los humanos un poder sin precedentes sobre el mundo natural. Pero su universo está dominado por fuerzas inanimadas y es un lugar muy diferente del mundo poblado de espíritus en que vivía casi todo el mundo antes de la era moderna. Los antiguos dioses han sido desterrados y el mundo de la sociedad moderna está regido por leyes científicas impersonales. La gravedad y la segunda ley de la termodinámica gobiernan hoy en lugar de los dioses y los demonios. Además, el conocimiento científico carece de la concreción y el sentido topológico de casi todos los sistemas premodernos de conocimiento, ya que se esfuerza por construir generalizaciones válidas para todas las sociedades y todas las eras^[27]. Un sistema así no puede ofrecer el consuelo ni la guía moral de las religiones tradicionales, aunque es más eficaz contribuyendo a la manipulación de nuestro medio material. Pero en un mundo tan poblado había que pagar un precio. Un sistema de conocimiento que manipula con eficacia el mundo material es exactamente lo que necesitamos. Sin un

conocimiento así, probablemente no podríamos mantener una población de 6000 millones de personas.

Aceleración

La velocidad de estas transiciones es ya un rasgo característico, pues el ritmo del cambio ha aumentado también. En realidad, este cambio es tan decisivo que nos obliga a ver la revolución moderna como una revolución distinta de todas las anteriores. A diferencia de la transición a la agricultura, que se produjo región por región y tardó milenios, la transición a la revolución moderna ha sido prácticamente instantánea y ha durado sólo dos o tres siglos. Y se ha producido en un mundo interconectado en el que las innovaciones se difundían tan rápidamente que había poco espacio para la invención independiente. A una velocidad tan elevada, los umbrales decisivos sólo podían cruzarse una vez. Esta singularidad dio una gran ventaja a las regiones que se modernizaron antes y fue lo que hizo que casi todas las restantes comunidades experimentaran la transición a la modernidad como una imposición violenta de normas que venían de fuera, como un tremendo huracán social sobre el que tenían poco control. La rápida difusión del cambio explica que las formas adoptadas por la revolución moderna estuvieran tan influidas por las culturas de una parte del mundo, Europa. Claro que si Europa no hubiera ido en cabeza, podemos estar seguros de que no habría tardado en cruzar el mismo umbral cualquier otra parte del mundo.

TEORÍAS DE LA MODERNIDAD

¿Cómo explicaríamos estas asombrosas transformaciones? No hay todavía un acuerdo general sobre la naturaleza de la revolución moderna o de sus causas. Un siglo de detallada investigación histórica ha generado un fondo colosal de información sobre la historia moderna, en particular en Europa y Estados Unidos, pero no hay ni una sola teoría sobre el origen de la modernidad que haya recibido el beneplácito general. Por si no bastara con las dificultades causadas por esta falta de consenso y la portentosa masa de información e ideas, está además el hecho de que aún vivimos en la revolución moderna. No conocemos sus perfiles; quién sabe si dentro de unos siglos se verá claramente que en el año 2000 d. C. las transformaciones no habían hecho más que empezar. Podría suceder que incluso las definiciones más generales estuvieran totalmente equivocadas.

Un libro como éste no puede «resolver» el problema de la modernidad. Pero tenemos que esforzarnos por saber qué aspecto tiene esta revolución en la escala de la macrohistoria y desde el punto de vista de principios del siglo XXI. Si hay algo

particular en el argumento que sigue es que ve la revolución moderna en el amplio contexto de la historia humana y planetaria, y no como un simple problema relativo a los últimos siglos y a ciertas regiones del mundo. Por lo tanto, su perspectiva es global, un rasgo que lo diferencia de muchas historias al uso. Las historias de la revolución moderna suelen partir de la suposición (tácita habitualmente) de que la modernidad fue fundada en Europa y por las sociedades europeas; de este modo dan a entender que explicar la modernidad equivale a estudiar la historia europea. Por desgracia, la hipótesis de la «excepcionalidad» de Europa ha frenado los análisis comparados necesarios para averiguar si el argumento es válido o no^[28]. Si la modernidad es, como sostengo, un fenómeno global, el enfoque eurocentrista acabará confundiéndonos sin remedio. Los historiadores interesados por la historia universal se han esforzado últimamente por entender la modernidad como un problema global que pide una explicación global^[29]. La versión que sigue no niega el destacado papel de Europa y el mundo atlántico en la revolución moderna, pero está construida dentro de los parámetros de la historia universal y se centra en los aspectos globales del problema.

Crecimiento demográfico e índices de innovación

Para aclarar algunos problemas que surgirán, correré el riesgo metodológico de empezar por el crecimiento demográfico. Sostengo que, si somos capaces de explicar la tremenda explosión demográfica de los dos o tres últimos siglos, deberíamos poder explicar asimismo muchos otros aspectos de la revolución moderna. Pero cualquier explicación del crecimiento demográfico nos conduce de inmediato al tema de la innovación. Un crecimiento demográfico rápido y sostenido *debe* comportar una aceleración de los ritmos de innovación. Así pues, en la base de cualquier explicación de la revolución moderna deben estar los cambiantes índices de innovación. Como ha dicho Joel Mokyr: «El cambio tecnológico [...] explicó el crecimiento *sostenido*. No fue la consecuencia del crecimiento económico, sino la causa^[30]».

Por lo tanto, el problema es explicar la brusca aceleración global de las innovaciones, que es la clave de la revolución moderna. Ya hemos visto que la aceleración de las innovaciones está en cierto modo implícita en la idea de aprendizaje colectivo, de modo que la revolución moderna representa en realidad un cambio de velocidad en el ritmo del aprendizaje colectivo de los dos últimos siglos. Como ha señalado Daniel Headrick: «El conocimiento es causa y efecto del crecimiento económico, y la industria de la información ha sido la causa inicial de la aceleración del cambio tecnológico de los últimos doscientos años^[31]». Ya hemos visto algunos mecanismos que aceleraron o retrasaron los índices de innovación en eras anteriores y en diversas regiones del mundo, entre ellos el tamaño y la variedad de las redes de intercambio y la intensidad de los intercambios dentro de ellas.

También comprenden el propio crecimiento demográfico, que no sólo aumenta el tamaño de las redes de intercambio, sino que además ejerce una presión más o menos ligera para aumentar la productividad en regiones de densidad demográfica alta. En la era de las civilizaciones agrarias, los estados y los intercambios comerciales funcionaron como fuentes de innovación. Pero también podían inhibir el desarrollo, al igual que la presión demográfica cuando tendía a la superpoblación o a la propagación de enfermedades. En consecuencia, estos factores de presión no podían generar, ni siquiera combinados, ritmos de innovación suficientemente acelerados para alcanzar los niveles potenciales del crecimiento demográfico. De ahí que hubiera hambrunas periódicas y ciclos malthusianos que determinaban los ritmos básicos de la historia humana en la era de las civilizaciones agrarias.

La característica más llamativa de las innovaciones de los dos últimos siglos es que por vez primera han sido tan rápidas y sostenidas que los niveles de productividad han ido a la velocidad del crecimiento demográfico y en algunos aspectos lo han sobrepasado. En realidad, como veremos más abajo, los ritmos a gran escala de la historia moderna están menos determinados por los ciclos malthusianos, que eran consecuencia de una productividad insuficiente, que por los ciclos económicos, generados por la superproducción. Ni que decir tiene que ha habido muchos casos de hambre regional, a veces devastadora, pero la producción de alimentos a escala global ha estado más que a la altura del crecimiento demográfico, lo cual es precisamente el motivo de que la población haya aumentado tan aprisa. Y lo que es válido para la producción de alimentos es también válido para la producción en otros sectores, desde la ropa y la vivienda hasta la energía y el armamento, pasando por los bienes de consumo en general. Lo que tenemos que explicar es este brusco aumento global del ritmo de aprendizaje colectivo, los índices de innovación y los niveles de productividad.

Detonantes posibles

Podemos aclarar las opciones enumerando algunos de los detonantes que se han propuesto para explicar la revolución moderna. La enjundiosa tradición de la investigación académica ha presentado varios candidatos prometedores^[32]. Por lo general se han empleado para situar a Europa en el mundo moderno. Pero en principio deberían ser igualmente válidos a escala global.

Teorías demográficas. Ciertas teorías demográficas (por lo general relacionadas con las investigaciones de Ester Boserup) recurren ampliamente a la presión demográfica para explicar el aumento de los ritmos de innovación^[33]. Ya hemos visto que el crecimiento demográfico obligó a la innovación durante toda la era agraria. Y no es menos cierto que cuando se combinaba con el auge del comercio, el crecimiento

demográfico hacía a veces de acicate, aumentando la mano de obra y también la demanda. Por ejemplo, en la Gran Bretaña del siglo XVIII, la creciente demanda de leña y madera para la construcción y la industria condujo a la deforestación, que a su vez obligó a buscar mejores formas de aprovechar los combustibles alternativos. Y algunos inventos clave de la revolución industrial británica, como la máquina de vapor alimentada con carbón y los métodos de trabajar el hierro con carbón en vez de con madera, pueden entenderse como una respuesta a esta presión.

Sin embargo, la presión demográfica por sí sola explica únicamente una parte pequeña de la brusca aceleración de los ritmos de crecimiento que es característica de la era moderna. El inconveniente es que la presión demográfica ha generado pocas veces las innovaciones que se necesitaban y la población, en consecuencia, se ha muerto de hambre o se ha apañado sin ellas. Al fin y al cabo, Gran Bretaña no fue el único país que anduvo escaso de madera y el problema habría podido ser peor en otros lugares, por ejemplo en China^[34]. La necesidad no siempre es la madre de la invención.

Teorías geográficas. Las teorías geográficas se basan sobre todo en los rasgos geográficos concretos para explicar los crecientes índices de innovación. Por ejemplo, durante la revolución industrial, Gran Bretaña pudo sustituir la madera por el carbón únicamente porque tenía depósitos abundantes y accesibles. E. A. Wrigley ha utilizado estas observaciones para defender un argumento que apela a rasgos geográficos «contingentes» para explicar el papel excepcional de Europa en la revolución moderna^[35]. Los que se acogen a estas teorías señalan que había regiones del mundo con población elevada y altos niveles de productividad y comercio; es posible, pues, que las circunstancias geográficas, como la situación del carbón o la proximidad relativa del norte y el sur de América, sean lo que mejor explique las diferencias entre la trayectoria de Europa y, por ejemplo, la de China, en los siglos XIX y XX.

Los rasgos geográficos de esta índole son indiscutiblemente importantes y tendrán un papel destacado en la descripción que presento más abajo, pero por sí solos explican poco, sencillamente porque siempre estuvieron allí. Las oportunidades para cambiar no garantizan que se vaya a producir el cambio. En realidad, los metalúrgicos británicos llevaban dos siglos tratando de utilizar el carbón, hasta que Abraham Darby, a principios del siglo XVIII, les enseñó a utilizar el coque. Como dice Mokyr, los factores geográficos de esta índole pueden *condicionar* el cambio, pero no son *causa* fundamental del cambio^[36]. Lo que hay que explicar es por qué factores geográficos como la presencia del carbón empezaron de súbito a ser explotados con más eficacia, un cometido que nos estimula a buscar rasgos característicos en la historia intelectual, económica y social de las modernas sociedades industriales.

Teorías idealistas. Hay otras teorías que podrían calificarse de *idealistas*. Sostienen que las formas de pensar influyen en los índices de innovación. Las teorías más sencillas de este grupo explican la revolución moderna diciendo que es el resultado de una ola continua de inventos. T. S. Ashton caricaturizó esta explicación en un resumen propio de una redacción escolar sobre el tema: «Una ola de artilugios inundó Inglaterra hacia 1760^[37]». Naturalmente, en un sentido elemental, estas teorías son correctas. La cantidad de innovaciones aumentó y cada innovación contribuyó a elevar el nivel general de la productividad. El problema, patente incluso en las variantes más complejas de esta teoría, sin olvidarnos de la versión del propio Ashton^[38], es que no pueden explicar por qué el ritmo de las innovaciones creció como creció y en el momento en que creció. ¿Por qué tantas innovaciones? ¿Por qué tanto interés por las tecnologías y las técnicas materiales más productivas o eficientes? ¿Por qué entonces y por qué allí?

Las teorías idealistas más sutiles proponen que los cambios más profundos en las actitudes y los métodos de pensamiento fomentaron nuevos métodos comerciales y tecnológicos. El exponente más célebre de este enfoque (del que el autor renegó luego, por lo menos en parte) es el clásico de Max Weber sobre las relaciones entre el capitalismo y el protestantismo, que apareció en 1904-1905. Weber sosténía que el protestantismo, a diferencia del catolicismo, encarnaba una ética de trabajo denodado, ahorro y racionalidad que estimuló a los individuos emprendedores a ahorrar e inventar por nuevos medios^[39]. Pero estas teorías son difíciles de sostener. Las religiones no son monolitos: al igual que todos los sistemas de pensamiento, son suficientemente complejas, polifacéticas y maleables para adaptarse a ambientes muy distintos. El budismo, el islamismo, el confucianismo e incluso el catolicismo han fomentado en algún momento de su historia algunas de las cualidades que Weber relacionaba con el protestantismo y el capitalismo. La «libertad» (sobre todo de empresa) se ha presentado a menudo como detonante decisivo de las innovaciones; lo mismo se ha hecho con el «surgimiento de la ciencia». Pero el problema que también tienen estos argumentos es que han de explicar por qué y de qué manera adquirieron de repente tanto protagonismo estos factores concretos^[40]. Incluso las teorías idealistas más minuciosas tienen dificultades para explicar por qué tuvieron que cambiar las actitudes de un modo tan decisivo en un período concreto de la historia humana. Si el protestantismo condujo a la ciencia, a la racionalidad o a la modernidad, ¿qué condujo hasta el protestantismo? Es indudable que los cambios producidos en las actitudes explican en buena medida la aceleración del ritmo de las innovaciones, pero son síntomas de algo más profundo, no motores de cambio independientes.

Teorías comerciales. Otro puñado de teorías se concentra en el papel de los intercambios comerciales. Los historiadores de la economía, que trabajan dentro de

una tradición que se remonta a los escritos de Adam Smith, han destacado el papel de las crecientes redes de intercambio comercial. Smith sostenía que los índices de innovación estaban directamente relacionados con los niveles de comercialización. El capítulo I de *La riqueza de las naciones* (1776) empieza: «La importantísima mejora conseguida en la capacidad productiva del trabajo y los principales aspectos de la habilidad, la destreza y el juicio con que éste se dirige o aplica parecen haber sido consecuencias de la división del trabajo». En otras palabras, la especialización elevó la productividad. Pero Smith explicaba el aumento de la especialización en cuanto tal como una consecuencia de la aparición del mercado. El capítulo 2 empieza: «Esta división del trabajo, de la que tantos beneficios se derivan, no es en su primer momento un resultado de la perspicacia humana, que prevé y aspira a esa opulencia general a la que da ocasión. Es la consecuencia, inevitable aunque muy lenta y gradual, de cierta tendencia de la naturaleza humana que no se propone un beneficio tan amplio: es la tendencia a cambiar una cosa por otra^[41]». Conforme se expanden las redes de intercambio, las importaciones baratas competirán con los fabricantes locales más caros y les obligarán a especializarse más, para que puedan producir con más eficacia, o a concentrarse en productos que puedan producir más eficazmente. De este modo, las grandes redes de intercambio se encargan de que los métodos más productivos acaben siendo los más usados. Además, donde los mercados son amplios, los individuos pueden permitirse una especialización más estricta, porque hay clientela suficiente para vivir del oficio especializado (véase la figura 11.2). El capítulo 3 de *La riqueza de las naciones* explica ya en el título la relación entre los mercados y la división del trabajo: «Que la división del trabajo está limitada por las dimensiones del mercado». En otras palabras, la expansión de las redes de intercambio fomentó la especialización, la cual fomentó la innovación en las técnicas productivas, un crecimiento especial que podríamos llamar *smithiano*^[42].

Como se ha sostenido en el capítulo anterior, hay una clara y profunda relación entre la expansión de las redes comerciales, el aumento de la especialización y el aumento de los ritmos de innovación. En general, la actividad comercial (es decir, la producción de ingresos por medio de intercambios relativamente consensuados en los que la coacción no es el factor dominante) tiende a fomentar la innovación más que la exacción (la obtención de ingresos por medio de intercambios dominados por la amenaza de la coacción), porque los que generan ingresos comerciales tienen que compensar con la eficacia lo que les falta en capacidad de coacción. Pero ya hemos visto que esta regla tiene muchas excepciones; los exactores están a veces interesados por las innovaciones que aumentan la eficacia y los comerciantes no han sido nunca reacios al empleo de la fuerza cuando pueden salir airoso. Además, la naturaleza de casi todos los estados premodernos da a entender que en las civilizaciones agrarias la exacción generaba por regla general más riqueza y ciertamente más poder que los intercambios comerciales. Esta diferencia nos ayuda a entender lo que al principio pudo parecernos desconcertante: que aunque las redes comerciales son tan antiguas

como las civilizaciones agrarias, su influencia sobre los índices de innovación ha estado limitada hasta los dos o tres últimos siglos. Entonces, ¿por qué los intercambios comerciales se han vuelto tan importantes en la era moderna? ¿Han llegado a algún umbral crítico? Y si éste es el caso, ¿cómo lo describiríamos? Para explicar la modernidad tenemos que explicar cómo y por qué han cambiado en los últimos siglos el papel y el significado de los mercados.

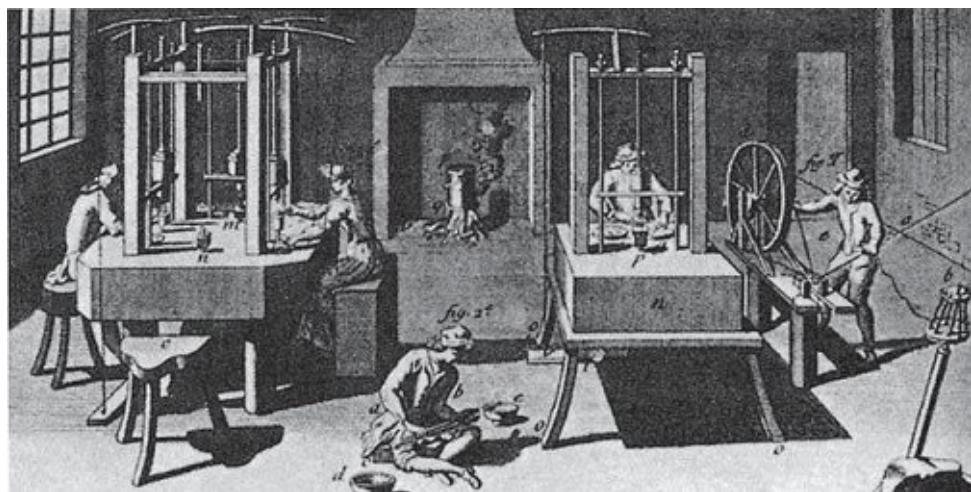


FIGURA 11.2. Fábrica de alfileres del siglo XVIII. Adam Smith utilizó la fábrica de alfileres como ejemplo que ilustraba los beneficios de la división del trabajo. Tomado de Joel Mokyr, *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford University Press, Oxford, 1992, p. 78; original de René-Antoine Ferchault de Réamur, *L'Art de l'épinglier*, 1762.

Una solución frecuente (vinculada a menudo a las teorías idealistas de la modernidad) ha sido sostener que Europa estaba insólitamente comercializada y que los mercados europeos eran insólitamente vigorosos. El problema de estos argumentos es que la investigación reciente ha puesto de manifiesto que todavía a finales del siglo XVIII, los niveles generales de comercialización e incluso de productividad en general eran probablemente tan altos en China, Japón y el norte de la India como en Europa, y que sólo en el mundo atlántico empezaron a crecer los índices de innovación en el siglo XIX. André Gunder Frank ha sostenido recientemente que las economías asiáticas eran las de más población, y las mayores y más productivas todavía en 1750 e incluso en 1800. En realidad sostiene que es posible que los ingresos per cápita fueran más elevados en China que en Europa todavía en 1800^[43].

Teorías sobre la estructura social. Sin embargo, al reducir la excepcionalidad europea se vuelve muy difícil explicar la diferente trayectoria de estas regiones en el siglo XIX. La respuesta que ha tenido más protagonismo en los debates al respecto por lo menos desde los tiempos de Karl Marx es que, aunque Europa occidental no destaque en 1800 desde la perspectiva smithiana, es un caso notable desde el punto de vista institucional y social. Esta idea es característica de otro enfoque posible a la hora de explicar la subida de los índices de innovación. Las teorías sobre las

estructuras sociales sostienen que éstas afectan a los índices de innovación de diversas maneras. En general, dicen que la capacidad del comercio para elevar la productividad puede transformarse conforme los grupos sociales poderosos pasan a depender más de los intercambios comerciales que de los tributarios. En los capítulos anteriores hemos recurrido a estos argumentos para comentar por qué los niveles de innovación tendían a ser bajos en las sociedades organizadas por el parentesco y por qué las estructuras de los estados exactores estimulaban la innovación, pero de manera equívoca y con titubeos. Una explicación de la modernidad que se base en la estructura social debe demostrar que surgieron nuevas estructuras sociales que dieron un impulso más poderoso a la innovación. Estas teorías deben mucho a Marx, que llamó «capitalismo» a la estructura social característica de la modernidad. Marx sostuvo en *El capital* que la generalización de los intercambios que es característica del capitalismo fomenta una sinergia tecnológica nueva y singularmente poderosa, cuyas propiedades analizó con todo lujo de detalles. El resumen simplificado que sigue se basa en la idea marxiana de los «modos de producción» según la versión modificada de Eric Wolf^[44].

El marxismo no está de moda en la actualidad; en realidad, algunos han afirmado que fue «rebatido» por el hundimiento del socialismo en la década de 1980, y lo cierto es que gran parte del pensamiento de Marx está hoy anticuado. Sin embargo, creo, al igual que Anthony Giddens, que el análisis marxiano del capitalismo «sigue siendo la herramienta imprescindible de todo intento de comprender las gigantescas transformaciones que han sacudido el mundo desde el siglo XVIII^[45]». Según Marx, los «modos de producción» determinan modelos de sociedad cuyas formas de vida y cuyas tecnologías están relacionadas con las estructuras sociales concretas. Ya hemos empleado los modos de producción de Wolf relacionados con la organización por parentesco y la exacción. Aquí analizaremos con más detalle el modo de producción capitalista. En este ideal tiene tres componentes principales: a) la clase dominante de los empresarios o «capitalistas» que son propietarios de los medios de producción (es decir, el capital) y los utilizan para generar beneficios comerciales que financien su forma de vida privilegiada; b) la clase de los que, a diferencia de los campesinos, *no tienen acceso a la propiedad productiva* y, por lo tanto, sólo pueden sobrevivir vendiendo su fuerza de trabajo, convirtiéndose así en la clase de los asalariados o «proletarios»; y c) mercados competitivos que relacionan estos dos grupos por medio de intercambios comerciales regidos por fuerzas de mercado y no por la coacción jurídica o física. En un mundo capitalista ideal, los grupos privilegiados están compuestos básicamente por capitalistas y el resto de la población por proletarios, y casi todos los intercambios pasan por el mercado.

En un mundo así, la riqueza, por definición, se reparte de un modo más desigual que en el mundo de las exacciones, porque la mayoría de los proletarios no tiene acceso directo a recursos productivos como la tierra. Hablando en términos generales, es esta acentuada diferencia de riqueza lo que explica el asombroso dinamismo del

capitalismo, del mismo modo que la gran diferencia térmica que hay entre el Sol y el espacio que lo rodea desencadena complejos procesos en la Tierra. Las grandes desigualdades del capitalismo nos ayudan a entender por qué para movilizar los recursos no se recurre ya en primera instancia a la violencia o a la amenaza, como en las sociedades exactoras. Por el contrario, los estados recurren a la fuerza sobre todo para mantener las estructuras de la ley y la propiedad que protegen la concentración de riqueza. Es la acentuación de la diferencia lo que mueve la riqueza con tanta eficacia en las sociedades capitalistas y lo que permite que entendamos por qué los estados modernos, paradójicamente, han de ser mucho mayores y más complejos que los estados del mundo de la exacción.

¿Por qué fomentan la innovación estas estructuras? El meollo del argumento es que las dos clases sociales principales están en entornos que las obligan a innovar de manera continua e interminable. Así como los cambios ecológicos obligan a las especies a evolucionar aprisa en períodos de cambio ambiental rápido como las glaciaciones, la nueva y cambiante ecología social del capitalismo obliga a los humanos de todas las clases a adaptarse buscando sin cesar nuevas formas de funcionamiento. De este modo, las estructuras del capitalismo condujeron a la producción de comportamientos nuevos que movilizaron la capacidad innovadora por medios revolucionarios.

El argumento de Marx difiere poco en este punto del de los economistas ortodoxos. En un mundo de empresarios, mercados competitivos y asalariados, tanto los primeros como los últimos tienen que buscar innovaciones para sobrevivir. Los empresarios porque, en los mercados competitivos, la mejor estrategia a largo plazo siempre será abaratar los costes de producción y, por lo tanto, de venta, y para instrumentalizar una estrategia así hay que introducir innovaciones que abaratén los costes en la producción, el transporte y la gestión. A semejanza de la evolución en el mundo no humano, el proceso es infinito, porque los competidores imitarán de inmediato a los innovadores y de este modo la innovación empresarial se volverá general, constante y en aceleración continua.

También los asalariados tienen que buscar formas de mejorar la productividad. En tanto que vendedores de fuerza de trabajo, compiten con otros asalariados. Para encontrar compradores tienen que ofrecer un trabajo que sea más productivo y más barato que el de los rivales potenciales. La dinámica de la competencia garantiza también aquí que la productividad del trabajo aumentará de manera sistemática. Estas leyes aclaran la vieja paradoja de que «el látigo económico» del capitalismo —como llamaba León Trotski a la amenaza del desempleo— sea un instrumento mucho más eficaz para aumentar la productividad del trabajo que el látigo del esclavo o el siervo. Los amos no pueden permitirse el lujo de que los esclavos o los siervos pasen hambre, pero tampoco tienen ningún aliciente para darles una calidad de vida elevada. Un sistema así no puede fomentar la creatividad del trabajador. Sin embargo, los empresarios capitalistas no son propietarios de sus trabajadores y no tienen

necesidad de protegerlos del hambre o la pobreza. En realidad, tenderán a ver en el desempleo y en la pobreza saludables incentivos para trabajar con más ahínco. Así que es el propio trabajador el que tiene que procurar que su trabajo sea suficientemente productivo para encontrar un comprador. Por este medio, el látigo económico puede fomentar una autodisciplina sincera e incluso creativa, mientras que el látigo del capataz no puede fomentar más que conformismo a regañadientes. El capitalismo genera una disciplina que afecta al intelecto, al psiquismo y al cuerpo de los asalariados con una fuerza que no estaba al alcance de los métodos característicos, más directos y brutales, de las sociedades exactoras. Es como si las estructuras del capitalismo obligaran a los individuos a cargar otro *software* en el cerebro. O, por recurrir a otra metáfora, como si las estructuras del capitalismo llenasen la cabeza de las personas con motivaciones y significados (o «memes», en el lenguaje de Richard Dawkins) completamente nuevos^[46].

Es un modelo de sociedad en el que la innovación es infinita, porque las dos grandes clases de la sociedad se encuentran en una cinta móvil de productividad creciente. Las teorías de la modernidad basadas en la estructura social dan a entender que si explicamos cómo y por qué se adaptaron las sociedades modernas a este modelo ideal, habremos explicado una parte importante de la revolución moderna.

Pero también aquí hay problemas. La investigación reciente da a entender que ya no es tan fácil como antes señalar las diferencias entre una Europa capitalista y una China o una India no capitalistas. En gran parte de Asia oriental era corriente el trabajo asalariado, lo mismo que la producción capitalista. Kenneth Pomeranz y R. Bin Wong han expuesto en sendos estudios comparados que los niveles del desarrollo capitalista en China y Europa occidental eran tan parecidos que ya no se puede explicar la revolución industrial remitiéndose únicamente a los elevados niveles del capitalismo europeo^[47]. Es tanto el parecido que los dos autores nos dejan con la impresión de que el paso al crecimiento acelerado, que fue decisivo en la historia de la era moderna, puso en marcha unas cuantas diferencias contingentes, por ejemplo la distribución del carbón.

En los dos capítulos siguientes trataré de explicar los modernos índices de innovación, introduciendo algunos de los detonantes que hemos repasado y añadiendo otro.

Escala y sinergia de las redes de intercambio. En el capítulo 7 he sostenido que los índices de innovación, en las escalas grandes, estaban determinados por el tamaño y la heterogeneidad de las redes de información. Con esto quiero decir que la escala por sí misma y la variedad de las interacciones podrían haber sido un poderoso determinante de los cambiantes índices de innovación. En los capítulos 12 y 13 expondré que el aumento brusco de la escala y la variedad de los intercambios de información a comienzos del período moderno podría haber dado un fuerte empujón a algunos procesos de aprendizaje colectivo, sobre todo en las regiones axiales, que

era donde estos intercambios estaban más concentrados y eran más diversos. Pero envolveré la sugerencia en una argumentación que hablará de otros detonantes, conocidos en la literatura sobre el origen de la modernidad. Primero describiré algunos factores que intervinieron en la aceleración del ritmo de innovaciones en general. Luego explicaré por qué la aceleración se vio en Europa antes que en otros sitios. Por si alguien necesita orientarse, presento una versión algo esquemática de mi argumentación.

- Explicación global del crecimiento de los índices de innovación.

Acumulación. Los procesos de acumulación desarrollados sobre todo en la zona afroeuroasiática en el curso de varios milenios habían creado ciertas regiones en que la innovación había llegado hasta donde podía llegar en el marco exactor tradicional de la era de las civilizaciones agrarias. En el siglo XVIII, estas regiones comprendían China, Japón, partes de la India y partes de Europa occidental^[48]. *Redes de intercambio en expansión.* La creación de un sistema global de intercambios a partir del siglo XVI dio un repentino y decisivo impulso a los procesos globales de aprendizaje colectivo y comercialización. Las redes de intercambio de información ampliadas abrieron nuevas posibilidades para la innovación que contribuyeron a romper el techo tecnológico alcanzado en las regiones con mayor densidad de población. A consecuencia de este cambio, la cantidad y variedad de la información que se intercambiaba aumentaron bruscamente, lo mismo que la velocidad a la que circulaba, produciéndose así una notable expansión de las reservas de conocimiento que podían aprovechar las sociedades de todo el mundo. El aumento de los intercambios comerciales disparó asimismo la actividad comercial, acelerando los procesos de innovación que conocemos por las versiones de la modernidad según Smith y Marx.

- Explicación del papel excepcional de Europa en la revolución moderna.

Nueva tipología del intercambio. Unas cuantas sociedades estaban bien situadas geográficamente para sacar provecho de la brusca aceleración de los procesos globales de aprendizaje colectivo. La aparición de un sistema global de intercambios de información modificó la topología de las redes de intercambio a gran escala. Las costas atlánticas del continente euroasiático, que hasta entonces habían sido la periferia de las redes afroeuroasiáticas de intercambio, se encontraron de súbito en el eje de las redes de intercambio nuevas y de alcance global. Europa y luego la costa atlántica de América del Norte fueron el primer eje de un nuevo sistema mundial, aunque su centro de gravedad estuviera durante mucho tiempo en la India y China. El volumen de intercambios siguió siendo mayor en Asia oriental hasta bien

entrado el siglo XIX, aunque por Europa y la zona atlántica circulaba ya una variedad más amplia de ideas, mercancías, riqueza y tecnologías^[49]. Esta topología reorganizada dio a Europa occidental una prioridad comercial e intelectual llovida del cielo. Al mismo tiempo, Mesopotamia, que durante milenios había sido el eje de las redes euroasiáticas de intercambio, perdió importancia de súbito en el nuevo sistema de intercambios globales. Estos cambios en la topología de las redes globales de intercambio dieron a Europa ciertas ventajas importantes^[50]. Desde este punto de vista, la modernidad no es algo que comenzó en Europa y se difundió por otras regiones del mundo, sino el resultado de varios procesos globales que asignaron a las costas del Atlántico norte un papel radicalmente nuevo.

Predisposición europea. Pero ¿por qué estaba Europa en condiciones de aprovechar estas ventajas inesperadas? Porque sólo Europa tenía tanto una posición central en el sistema mundial en ciernes como un nivel de comercialización elevado. Las ventajas de Europa no se debieron a una simple cuestión de buena suerte geográfica. Por el contrario, las sociedades de Europa occidental estaban, en buena medida, predispostas a aprovechar las oportunidades creadas en las nuevas redes globales de intercambio. Las estructuras sociales, políticas y económicas de muchas regiones de Europa occidental permitieron que Europa aprovechara los nuevos sistemas de intercambio que aparecieron con la formación de una red global de intercambios, punto en el que volveré a hablar de argumentos más conocidos sobre algunos rasgos excepcionales de la historia europea. Como ha dicho Wong en el interesante estudio en que compara la China y la Europa occidental de comienzos de la edad moderna, «la economía política europea no creó la industrialización y tampoco estaba especialmente diseñada para fomentar la industrialización. Antes bien, la economía política europea creó una serie de instituciones aptas para fomentar la industrialización en cuanto ésta apareciese^[51]».

RESUMEN

El mundo se ha transformado en los dos o tres últimos siglos. El cometido de los dos capítulos siguientes será explicar esta transición, recurriendo a la estrategia descrita en este capítulo. Me centro en el crecimiento demográfico, con la esperanza de que una explicación satisfactoria del asombroso crecimiento demográfico de los tiempos modernos contribuya a explicar por qué y cómo han aprendido los humanos a extraer de su entorno los colosales recursos necesarios para alimentar poblaciones de miles de millones. Esto quiere decir explicar el asombroso aumento de la innovación y la productividad que es propio del mundo moderno.

Ha habido muchos intentos de explicar el revolucionario aumento de las innovaciones que es fundamental para entender la revolución moderna. Cada una se centra en una causa diferente, la presión demográfica, los factores geográficos, la evolución de las ideas, la expansión de los mercados y las redes de intercambio, cambios en las estructuras sociales, etc. La versión de la revolución moderna que presento en los capítulos siguientes recurrirá a algunos de estos elementos, aunque se concentrará sobre todo en la cambiante topología de las redes de intercambio y en los cambios producidos en las estructuras sociales. Sostendré que la aparición de una red global de intercambios fomentó de un modo poderosísimo la actividad comercial y la innovación ecológica en todo el mundo. La ampliación de la escala de los intercambios de información en una red global de información disparó los índices de la innovación ecológica, mientras que el aumento de los intercambios comerciales aceleró las innovaciones identificadas en los modelos de la modernidad de Smith y Marx. De súbito Europa apareció en el sistema global, como una nueva región axial, por lo que estuvo bien situada para aprovechar las extraordinarias oportunidades comerciales creadas en el nuevo sistema global. Pero sostendré asimismo que las instituciones sociales y económicas de Europa contribuyeron a que aprovechara su afortunada situación en la nueva red global de intercambios.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Explaining Long-Term Economic Change (1991) de J. L. Anderson es una introducción competente a la bibliografía teórica. Entre los más importantes estudios recientes están Anthony Giddens, *A Contemporary Critique of Historical Materialism* (1995²); Joel Mokyr, *La balanza de la riqueza* (1990); y E. A. Wrigley, *Cambio, continuidad y azar* (1988) y *Gentes, ciudades y riqueza* (1987). *El milagro europeo* (1987) y *Crecimiento recurrente* (1988) de E. L. Jones son clásicos que han suscitado gran polémica sobre el origen del mundo moderno. André Gunder Frank, *ReOrient* (1998); Kenneth Pomeranz, *The Great Divergence* (2000); y R. Bin Wong, *China Transformed* (1997) nos recuerdan el atraso y la debilidad relativos de Europa antes de 1800 y en consecuencia desmienten las teorías, populares antaño, que remontaban la modernidad a la Europa medieval. Estas obras ponen de manifiesto hasta qué punto la revolución moderna fue el resultado de procesos globales. Margaret Jacob, *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution* (1998) ha tenido mucha influencia por introducir el papel de la revolución científica en la explicación del origen de la modernidad en Europa; Charles Tilly, *Coerción, capital y los estados europeos: 990-1992* (1992, ed. revisada) es la historia más general que se ha escrito sobre la modernización del sistema estatal europeo. Eric Wolf, *Europa y la gente sin historia* (1982) nos recuerda el papel crucial que han desempeñado en la historia moderna los pueblos sin estructuras estatales. Además de estos libros hay una amplia

literatura sobre aspectos concretos del «origen del mundo moderno», parte de la cual se citará al final de los dos capítulos que siguen.

Capítulo 12

GLOBALIZACIÓN, COMERCIALIZACIÓN E INNOVACIÓN

Los indígenas de la Tierra de Arnhem llamaron *balanda* a los primeros europeos que vieron, una palabra indonesia que deriva de «holandés».

TIM FLANNERY

El presente capítulo repasa la historia universal desde el año 1000 d. C. hasta 1700 aproximadamente y presenta algunos de los cambios que prepararon el camino de la revolución moderna. Habla primero de los procesos globales y expone que el aumento de tamaño de las redes de intercambio, lento hasta el siglo XVI y muy rápido desde entonces, creó nuevas posibilidades tanto para el intercambio de información y mercancías como para la innovación. Sostiene que la creación de una red de intercambio verdaderamente global en el siglo XVI aumentó de manera decisiva la escala, la trascendencia y la variedad de los intercambios de información y comerciales. La fusión de las zonas mundiales del Holoceno señala un momento revolucionario en la historia de la humanidad.

El capítulo describe además la cambiante topología de los intercambios globales. Conforme se transformaba la geografía de las redes de intercambio, los caudales de información y riqueza recorrían nuevos canales. Estos resultados fueron particularmente importantes en Europa occidental, que hasta entonces había estado en la periferia de los intercambios de la zona mundial afroeurasiática, pero que de súbito se encontró en el eje del primer sistema global de intercambios. Las modificaciones en la escala y la geografía de las redes de intercambio pusieron los cimientos intelectuales y comerciales de la revolución moderna y determinaron su geografía.

Necesitamos plantear una explicación a tres escalas. Primera: la revolución moderna fue, y es en cierto modo, un proceso global, y no se puede entender debidamente sin valorar este rasgo. Sus materias primas intelectuales, materiales y comerciales proceden de todos los puntos del mundo. Y el nuevo nivel de sinergia creativa generado por la fusión de las dos zonas mundiales mayores —Afroeurasia y América— fue, y probablemente sigue siendo, la palanca de cambio más poderosa del mundo moderno. La revolución moderna fue también global por sus efectos, a la vez creativos y destructivos. De una forma u otra, su impacto se sintió muy pronto en todas las regiones del mundo.

Pero la modernidad no se experimentó del mismo modo en todas las zonas mundiales y la necesidad de entender la diversidad de sus influencias exige una explicación a otro nivel. La fusión de las zonas mundiales resultó ser un proceso brutal y destructivo para las poblaciones autóctonas (humanas y no humanas) en las tres zonas mundiales menores: América, Australia y el Pacífico. Los beneficios se acumularon de manera desigual primero en el interior de la zona afroeuroasiática y luego en las «neoeuropas» de América, Australia y el Pacífico, las nuevas sociedades creadas por poblaciones afroeuroasiáticas que emigraron (de grado o por fuerza) a las otras tres zonas mundiales. En cierto modo, la historia de la zona afroeuroasiática garantizaba que cuando sus poblaciones se encontraran con sociedades de otras zonas mundiales, prevalecerían las sociedades afroeuroasiáticas.

Ya hemos visto algunas razones de este predominio. Unas tienen que ver con la existencia de la fauna domesticada en Afroeurasia. Empleados para la tracción y el transporte, los animales multiplicaron las ventajas de la escala al extender y acelerar los procesos de intercambio en lo que era ya la zona mundial más grande y más variada. La amplitud y la pujanza de las redes de intercambio nos ayudan a entender parte de las ventajas tecnológicas de las sociedades afroeuroasiáticas. Pero los animales también intercambiaban enfermedades con los humanos; su proximidad, en combinación con los eficientes sistemas de comunicación que proporcionaban, permitió que las poblaciones de Afroeurasia fueran más resistentes a las enfermedades que las de las restantes zonas mundiales^[1]. Es posible que las enfermedades fueran más útiles a los afroeuroasiáticos a la hora de la conquista que sus avanzadas tecnologías navales y militares. La viruela, por ejemplo, como ha dicho Alfred Crosby, «desempeñó en la expansión del imperialismo blanco un papel tan importante como la pólvora, quizá más importante, porque los indígenas volvieron los mosquitos y luego los fusiles contra los invasores, pero pocas veces ha combatido la viruela en el bando de los indígenas^[2]».

Pero las ventajas de la revolución moderna también se acumularon de manera desigual e irregular dentro de la gran zona mundial afroeuroasiática, una observación que nos lleva a la escala tercera o regional. Si pensamos que la revolución moderna fue un producto de las sinergias intelectuales y comerciales del primer sistema global, parece natural en principio que las materias primas intelectuales y comerciales de la modernidad se acumularan con preferencia en los ejes de intercambio y los centros de gravedad ya establecidos, por ejemplo en el mundo mediterráneo, o en Mesopotamia, o en el norte de la India, o en China. Y probablemente ocurrió algo así. Los ritmos de expansión e incluso de innovación fueron altos y sostenidos en todas estas regiones durante todo el período abarcado en el presente capítulo^[3]. Pero, aunque todas las regiones del antiguo centro estuvieran determinadas por la naciente red global de intercambio, la fuerza y la trascendencia de la revolución moderna brotó en otros lugares. El brusco aumento de las innovaciones que anuncia la modernidad se produjo primero en la franja occidental de la zona mundial afroeuroasiática, en una

región no integrada en la creciente zona de civilizaciones agrarias hasta el I milenio d. C. y que tuvo una importancia secundaria hasta mediados del II milenio. Que la trascendencia adaptativa de la revolución moderna se plasmara allí primero no se hizo evidente, sin embargo, hasta 1776, cuando Adam Smith señaló que «China es mucho más rica que cualquier país de Europa^[4]».

Una explicación idónea de la revolución moderna debe aspirar a explicar sus orígenes a las tres escalas. Como dijo el islamista Marshall Hodgson en un trabajo publicado en 1967,

así como la civilización había aparecido a un nivel agrario en un solo lugar o, a lo sumo, en unos cuantos, y de allí se extendió por casi todo el resto del planeta, la nueva y moderna forma de vida no apareció al mismo tiempo ni en todas las regiones con población urbana, sino que empezó cristalizando en una zona pequeña, Europa occidental, desde donde se difundió por el resto. Los nuevos báremos no fueron resultado de unas presuntas condiciones ideales que Occidente poseyera en exclusiva. Así como habría sido imposible que surgiera la vida urbana y alfabetizada sin la acumulación previa de un caudal de invenciones y costumbres sociales, mayores y menores, procedentes de multitud de pueblos, también la gran mutación cultural moderna contó con las aportaciones previas de todas las poblaciones urbanas del hemisferio oriental. No sólo fueron necesarios los inventos y descubrimientos de muchos individuos —pues hasta la fecha se habían hecho pocos en Europa—; fue asimismo necesario que hubiera grandes regiones con población mayoritariamente urbana y relativamente densa, unidas por una gran red comercial interregional, para que se formara el vasto mercado mundial que se había gestado poco a poco en el hemisferio oriental, en el que se amasaron fortunas europeas y con el que la imaginación europea se ejercitaba^[5].

En la actualidad, casi cuarenta años después de que Hodgson escribiera ese pasaje, se aprecia mucho mejor la medida en que la revolución moderna fue resultado de varios procesos globales, aunque su trascendencia se viera al principio sólo en la franja occidental de la zona mundial afroeuroasiática.

Hemos visto en capítulos anteriores que, en las escalas grandes, el tamaño, la variedad y la vitalidad de las redes de intercambio podían ser importantes factores determinantes de los niveles de innovación, mientras que en escalas ligeramente menores también adquieren protagonismo el crecimiento de la población, la actividad estatal y la expansión del comercio. Todos estos elementos estuvieron determinados en gran medida por los ciclos malthusianos que caracterizaron la historia de casi todas las sociedades agrarias. Las redes de intercambios comerciales, políticos e informativos se extendieron con más fuerza en las eras de expansión demográfica y se redujeron con frecuencia en las de decadencia. Y durante las fases de expansión, la creciente esfera de los intercambios, el crecimiento de la población, la actividad estatal y la actividad comercial tendieron a generar innovaciones. En el milenio anterior a la Revolución Industrial hubo dos grandes ciclos malthusianos que fueron cruciales en la historia de toda la zona mundial afroeuroasiática e, indirectamente, también en la de otras zonas (véase la figura 10.4). El primer ciclo empezó por una reactivación demográfica, en la segunda mitad del I milenio, y terminó bruscamente con la peste negra de mediados del siglo XIV. El segundo, que empezó después de la peste, finalizó con una ralentización menos radical, en el siglo XVII.

La fase de expansión

Donde se ven mejor los ciclos malthusianos es en los ritmos del crecimiento demográfico (véanse la tabla 11.1 y la figura 10.4). En todos los ciclos malthusianos se pueden identificar ciertas innovaciones importantes que han permitido a las poblaciones aumentar hasta alcanzar otro nivel. El ciclo posclásico estuvo relacionado hasta cierto punto con los avances en las tecnologías agrícolas, como la introducción en Europa de arados más pesados tirados por caballos, o la introducción de cultivos nuevos como el centeno o variedades nuevas de arroz (gracias a la actividad gubernamental, aunque fueron los agricultores quienes mejoraron las variedades de arroz) y sistemas de regadío mejor administrados. Los métodos agrícolas experimentaron una revolución en China, el norte de Europa y el mundo islámico entre los siglos VIII y XII. El crecimiento de la población mundial estimuló la colonización. En realidad, el crecimiento fue más rápido en lugares como el centro de Asia, Europa septentrional y oriental y el sur de China, que habían sido fronterizos en la era clásica. El 60 por 100 de la población china vivía en las tierras septentrionales, que estaban determinadas por el río Amarillo; 250 años después sólo vivía allí el 40 por 100 y el sur del país se había convertido en el centro demográfico del imperio chino^[6].

En el extremo occidental, en las tierras fronterizas que hoy llamamos Europa, la colonización interior desplazó hacia el norte el centro demográfico de gravedad cuando empezaron a cultivarse tierras que hasta entonces se habían considerado estériles. Los páramos, bosques y pantanos ingleses empezaron a cultivarse en los siglos XII y XIII. Como señala Briggs: «Los “yermos” de Dartmoor, por ejemplo, se cultivaron; se sembraron terrazas construidas en laderas [...] en Wiltshire y en Dorset; los monjes de la abadía de Battle, en Sussex, construyeron diques sucesivos para recuperar las marismas. A finales del siglo XIII se cultivaba ya un área mayor que la que se cultivaba antes de las guerras del siglo XII^[7]». En las costas noroccidentales de Europa, entre el Rin y el Loira, colonos y terratenientes ganaban tierras de los pantanos costeros y las marismas, dando lugar a un proceso que en los Países Bajos acabó convirtiéndose en un importante arte nacional. En Europa oriental, una migración gigantesca y sin precedentes de campesinos que comenzó en el siglo VI creó los cimientos demográficos de los primeros grandes estados rusos.

El crecimiento de la población fomentó la expansión urbana. En Europa, comprendida Rusia, las ciudades con más de 20 000 habitantes pasaron de 43 a 103 entre 1000 y 1300^[8]. En el mundo islámico hubo ciudades superpobladas. Bagdad, la capital abasí, tuvo en el siglo IX alrededor de medio millón de habitantes. Pero incluso en los confines del mundo islámico, en Jorezm, a orillas del mar de Aral,

crecían las poblaciones situadas en el eje de las rutas comerciales que unían los bosques de Siberia, las estepas y las tierras urbanizadas del sur. En Jorezm se observa la mezcla de alta cultura y miseria que es característica de casi todas las ciudades premodernas. El geógrafo árabe al-Muqaddasí escribió que su capital, Kath, tenía una mezquita soberbia y un palacio real, y que sus almuédanos eran famosos en todos los dominios abasíes por «la belleza de su voz, la expresividad de sus recitaciones, su porte y su cultura». Sin embargo, «el río inunda continuamente las calles y los moradores se alejan sin cesar de la orilla. Hay muchos vertederos que inundan todos los tramos de los caminos. Los moradores hacen sus necesidades en las calles y acumulan los excrementos en pozos, de donde luego se llevan en sacos a los campos. Es tal la cantidad de excrementos que los forasteros sólo pueden transitar por las calles de día^[9]».

También en China prosperaron las ciudades, sobre todo en el sur, donde había más comercio. Es posible que en el siglo XII China fuera «la sociedad más urbanizada del mundo», ya que los niveles de urbanización llegaban quizás al 10 por 100^[10]. Hang-Cheu probablemente era por entonces la ciudad más grande del planeta, con un millón de habitantes por lo menos. Constaba de muchos distritos: barrios hacinados de clase obrera con casas de varios pisos; barrios extranjeros, con cristianos, judíos y turcos; un gran barrio musulmán con muchos comerciantes extranjeros; y una rica zona meridional habitada mayoritariamente por funcionarios del gobierno y comerciantes ricos^[11]. La lista de los gremios de Hang-Cheu que ha elaborado el historiador Jacques Gernet nos ofrece una idea aproximada de los oficios que se ejercían en la ciudad. En palabras de Janet Abu-Lughod, había «joyeros, doradores, fabricantes de pegamento, comerciantes en arte y antigüedades, vendedores de cangrejos, aceitunas, miel o jengibre, médicos, adivinos, buhoneros, boteros, guardas de baños y [...] cambistas^[12]». En esta época, las ciudades más grandes del mundo estaban en China^[13].

La expansión urbana fomentó el comercio local e internacional. Apareció toda una jerarquía de mercados. En los niveles inferiores estaban todavía dominados por el trueque, como da a entender un texto chino del siglo XII:

El mercado pequeño:
gente con hatos de té o sal,
gallinas que cacarean, perros que ladran,
se cambia arroz por leña,
se trueca pescado por arroz.
Por todas partes:
las banderas verdes de las tabernas
donde hay ancianos recostados,
adormecidos por la bebida^[14].

Pero también florecieron mercados regionales e internacionales. En 1000 d. C., casi todos los habitantes del noroeste de Europa eran aún campesinos autosuficientes; más al sur también era rural casi toda la producción, incluso en las antiguas regiones urbanas, como el norte de Italia. Pero a principios del II milenio, al crecer la población y las ciudades, aumentaron también las redes comerciales y la actividad comercial. Las célebres ferias de Champaña unían Flandes con las antiguas redes comerciales de Italia y el Mediterráneo. La expansión del comercio y las ciudades fue tan espectacular en Europa que un historiador, Robert S. López, ha dicho que la «revolución comercial de la Edad Media» marcó un punto de inflexión fundamental en la historia del mundo moderno. Para otro historiador, Carlo Cipolla, «el crecimiento de las ciudades europeas en los siglos X y XII representó un punto de inflexión en la historia de Occidente y, para el caso, de todo el mundo^[15]». Estos comentarios se refieren al ritmo del cambio en Europa, pero subestiman el alcance y la trascendencia de los cambios producidos en otros lugares de Afroeurasia.

Que la comercialización fue grande en toda la zona afroeuroasiática se ve en la consolidación y crecimiento de un ya próspero sistema de comercio interregional. El sistema mundial del siglo XIII, perfectamente descrito en un influyente trabajo de Janet Abu-Lughod, unía China, el sureste asiático, el Indostán, el mundo islámico, Asia central, ciertas partes del África subsahariana, el Mediterráneo y Europa en una sola red comercial por la que circulaban más mercancías que por las redes de la era clásica^[16]. Como ha señalado Thomas Allsen, por estas redes circulaban grandes cantidades de información política, cultural y tecnológica, así como de mercancías y enfermedades^[17]. Los pastores desempeñaron papeles importantes en este sistema en calidad de protectores, de guías y, en ocasiones, de mercaderes. El alcance de estas redes de comercio y cultura, sometidas a la influencia islámica, se observa con claridad en las memorias de Ibn Battuta, un erudito marroquí que viajó de Marruecos a La Meca, luego por las estepas eurasiáticas, por la India, por China y por el Sahara entre 1325 y 1355^[18]. Bajo el dominio mongol, las redes comerciales transeuropeas fueron más importantes aún, porque los mongoles protegían el comercio de las tierras que gobernaban. Aunque estas redes terrestres fomentaron los intercambios por todas las redes comerciales euroasiáticas, es posible que las rutas marítimas les superasen en importancia, sobre todo las que unían China, la India y el mundo islámico. Un signo temprano de la precocidad comercial de Europa es que los comerciantes desempeñaron un papel activo en muchos sistemas. En el siglo X había comerciantes y colonos vikingos desde Groenlandia (y durante un tiempo desde Terranova) hasta Bagdad y Asia central. A principios del siglo XIV, los comerciantes italianos (siguiendo las huellas de Marco Polo) viajaban tan regularmente entre el Mediterráneo y China que se publicaron guías de viaje para orientarles. Pero no estaban solos. Los comerciantes armenios y judíos desempeñaron papeles cruciales en los intercambios transeuroasiáticos^[19]. Las religiones, a saber, el cristianismo, el

zoroastrismo, el budismo, el maniqueísmo y el islam, también se desplazaban con sorprendente libertad por las principales redes comerciales afroeuroasiáticas. Y lo mismo las enfermedades. Al final llegó de Oriente la peste bubónica. Su difusión fue un exponente de la escala y vitalidad de las redes de intercambio afroeuroasiáticas, aunque para poner fin al ciclo de expansión posclásico.

El eje de estas redes permaneció en el mundo islámico, por lo que no es de extrañar que el islam se expandiera durante todo este período. En los siglos anteriores al año 1000 d. C. quedó patente la importancia de la región axial mesopotámico-persa en el papel crucial que desempeñaron los imperios sasánida e islámico en las redes afroeuroasiáticas de intercambio. En su primer milenio de vida, las civilizaciones islámicas que controlaban esta zona estimularon los intercambios de ideas, mercancías y tecnologías entre las diferentes áreas de las redes afroeuroasiáticas, potenciando en consecuencia el crecimiento demográfico y aumentando la sinergia de las redes de comercio e información. Como ha expuesto Andrew Watson, la expansión del islam fue posible en parte gracias a la actitud aperturista de los primeros estados islámicos ante la innovación, sobre todo en la agricultura^[20]. En los siglos que siguieron, los agricultores del mundo islámico importaron y aprendieron a explotar un amplio abanico de nuevos cultivos —árboles frutales, legumbres, cereales y plantas productoras de fibras, condimentos y sustancias estupefacientes—, dentro de lo que podríamos denominar *intercambio abasí*, por comparación con el posterior «intercambio colombino». De la India, África y el sureste asiático llegaron muchos cultivos nuevos. Y como con los cultivos y las tecnologías también se acumulaba información, en el mundo islámico pasó a ser el centro tanto de la ciencia euroasiática como del comercio. Fue allí y no en Europa donde se guardaron para el futuro los mayores hitos de la filosofía y la ciencia clásicas del mundo mediterráneo. No cabe ninguna duda de que el eje de la ecumene afroeuroasiática estaba en el mundo islámico en el año 1000 d. C.; y la expansión del islam prosiguió durante todo el ciclo malthusiano posclásico. En 1500, los estados islámicos comprendían el imperio otomano, el más poderoso del mundo mediterráneo; el imperio safawí de Persia; y una serie de estados que iban desde las Filipinas hasta el África subsahariana, pasando por el sureste y el sur de Asia.

Pero, aunque el eje de las redes afroeuroasiáticas de intercambio estuviera en el suroeste asiático, el centro de gravedad estaba en China y la India. El tráfico que pasaba por el Mediterráneo oriental sería más variado y procedería de una región más amplia, pero el *volumen* que circulaba por Asia oriental era el más elevado. Asia atraía a los comerciantes europeos, sobre todo China, porque allí estaban los mercados más grandes, los centros urbanos más poblados y la economía más dinámica del mundo. La historia económica de Asia oriental no se ha estudiado tanto como la de Europa; desde el siglo XVIII, los modelos de la historia económica de Asia han estado condicionados por imágenes que han presentado como «asiático» un tipo de economía y sociedad básicamente estático. La realidad era otra^[21]. Las economías

asiáticas no sólo eran las mayores del mundo, sino que probablemente tenían el nivel de comercialización más elevado, en todos los estratos de la sociedad, y los niveles de productividad más altos, tanto en el campo como en los centros urbanos.

Como ya hemos comentado en el capítulo 10, Lynda Shaffer ha sostenido que el principal rasgo geográfico de esta era de la historia universal fue la «meridionalización^[22]». Afín al fenómeno de la occidentalización, más reciente, la meridionalización empezó, según Shaffer, con innovaciones tecnológicas y comerciales en la producción textil, la metalurgia, la astronomía, la medicina y la navegación, todas ensayadas ya en la península indostánica y el sureste asiático. Un autor musulmán, al Jahiz, escribía en el siglo IX d. C.:

Por lo que se refiere a los indios, están entre los primeros en astronomía, matemáticas [...] y medicina; sólo ellos poseen los secretos de esta última y con ellos practican curas muy notables. Conocen el arte de tallar estatuas y el de las figuras pintadas. Suyo es el juego del ajedrez, que es el más noble de todos los juegos y exige más juicio e inteligencia que ningún otro. Fabrican espadas de Kedah y son maestros en su manejo. Tienen una música magnífica. [...] Tienen un alfabeto capaz de expresar los sonidos de todos los idiomas, y también muchos números. Han escrito muchísima poesía y muchos tratados largos, y tienen un profundo conocimiento de la filosofía y las letras. [...] Por la sensatez de sus juicios y costumbres inventaron los alfileres, el corcho, los mondadientes, el corte de la ropa y el tinte para el cabello. [...] Ellos fundaron la ciencia firk, que permite contrarrestar la acción de un veneno cuando ya se ha administrado, y la del cálculo astronómico, luego adoptada por el resto del mundo. A esta tierra fue a parar Adán cuando descendió del Paraíso^[23].

Las innovaciones ideadas o conservadas en la península indostánica se difundieron por el sureste asiático y China, y luego por el mundo islámico, aportando gran parte de la fuerza impulsora del ciclo malthusiano posclásico. Shaffer señala: «En 1200, el proceso de meridionalización había creado un Sur próspero desde China hasta el Mediterráneo musulmán^[24]».

La ampliación del comercio y sus consecuencias

La expansión de los mercados afroeuroasiáticos durante el ciclo malthusiano posclásico permitió que el comercio y los dedicados a él adquirieran una importancia cultural, económica y política sin precedentes. Ya hemos visto que los comerciantes desempeñaron un papel destacado en todas las civilizaciones agrarias; pertenecían a las clases altas, pero a un estrato inferior y a veces despreciado. No obstante, conforme se fueron ampliando las redes comerciales de las civilizaciones agrarias con el paso de los milenios, creció asimismo el volumen de la riqueza que pasaba por manos mercantiles y con él el número y la categoría de quienes administraban o dependían de la riqueza comercial. Al final del ciclo malthusiano posclásico, los comerciantes formaban una clase social importante, rica y con características propias en casi todos los estados de los mundos mediterráneo e islámico, la península

indostánica y China. En ciertas regiones y países, como las ciudades-estado de Italia, o los Países Bajos, o el sureste asiático, los comerciantes formaban la clase dirigente.

La reforzada confianza en los ingresos comerciales produjo cambios fundamentales en las actitudes, las estructuras estatales y la política de estos estados. Ya hemos visto que los ingresos de los estados que quedaban cerca de los principales sistemas comerciales solían depender más del comercio que de la exacción. En Europa se multiplicaron los estados pequeños durante el ciclo malthusiano posclásico, ya que aquí (a diferencia de lo sucedido en el Mediterráneo oriental, el norte de la India y China) no apareció ningún imperio exactor para suceder a los gigantes imperiales de la era clásica. Europa, lo mismo que ciertas zonas del sur y el sureste de Asia, creció como una región de múltiples estados, todos pequeños y muy competitivos. El tamaño de éstos limitaba el volumen de las exacciones posibles; la competencia despiadada elevó el coste de la supervivencia; y la proximidad de rutas comerciales de primer orden permitió desviar ingresos procedentes del comercio. En un medio así, las fuentes comerciales de ingresos dejaron de ser un recurso vergonzoso: no sólo eran la salvación fiscal de muchos estados pequeños, sino que además determinaban sus estructuras económicas y políticas e incluso sus valores y su composición social.

En Italia aparecieron núcleos de ciudades-estado con una gran iniciativa comercial; también aparecieron en el noroeste de Europa, sobre todo en Flandes y en las ciudades de la Liga Hanseática, que comerciaban con pieles y pescado del Atlántico y el Báltico. Como estos estados dependían tanto del comercio, sus gobernantes solían aliarse con los comerciantes y en ocasiones eran comerciantes. No es de extrañar que estos estados apoyaran la actividad mercantil con todas las fuerzas políticas y militares a su alcance, y practicaran una confusa mezcla de política exactora y comercial, recurriendo a la fuerza cuando podían y negociando con diplomacia cuando no había más remedio. Thomas Brady señala que, en Italia, «aparecieron estados gobernados por comerciantes o por comerciantes y terratenientes poco después del año 1000 d. C. Pisa, Génova y Venecia encabezaron el grupo, pero a lo largo y ancho de Europa central, desde la Toscana hasta Flandes y desde Brabante hasta Livonia, los comerciantes no sólo abastecían a los soldados —como sucedía en toda Europa—, sino que estaban en los gobiernos que declaraban guerras y, en ocasiones, se ceñían la armadura y se iban a combatir también ellos^[25]». A veces, estos estados mercantiles llegaban a ser tan fuertes que derrotaban militarmente incluso a estados exáctores muy poderosos, como fue el caso de las ciudades-estado atenienses que, 1500 años antes, habían derrotado al imperio persa en Maratón (490 a. C.) y Salamina (480 a. C.). En 1176, una coalición de municipios del norte de Italia derrotó en la batalla de Legnano al emperador germánico Federico Barbarroja, liberándose así del yugo imperial. Un tío de Barbarroja comentó la singularidad del fenómeno en estos términos: «En los municipios italianos no se niegan a nombrar caballeros ni a conceder cargos honorables a jóvenes de posición

inferior, ni siquiera a los que trabajan en viles oficios mecánicos y que otros pueblos excluyen de los círculos más respetables y honorables, como si fueran la peste^[26]».

Los estados mercantiles militarmente poderosos como los descritos reflejan la ley a largo plazo que dice que, cuando las redes comerciales se amplían y aumenta la riqueza que circula por ellas, crece asimismo la influencia potencial de los grupos de poder mercantiles, hasta que a veces se dan cuenta de que pueden enfrentarse a los grupos exactores vecinos, no sólo en el campo del comercio, sino también en el de batalla. Uno de los indicadores decisivos de la revolución moderna será el aumento de la influencia económica y militar de los estados cuya economía se basaba en los intercambios comerciales y no en las tradicionales prácticas exactoras, como la recaudación de impuestos sobre la tierra. Pero hasta el siglo XIX no se vio con claridad que, gracias al aumento de la riqueza que circulaba por las redes comerciales internacionales, los estados mercantiles acabarían eclipsando incluso a los imperios exactores más poderosos, y precisamente en su especialidad: el uso de la fuerza.

¿Una revolución industrial frustrada en la China Song?

China es un ejemplo interesante del impacto potencial de la comercialización en el interior de los poderosos imperios exactores. En el I milenio a. C. había ya actividad comercial en gran parte de China, incluso la tierra podía comprarse y venderse. La aparición de una clase mercantil poderosa e independiente a mediados de dicho milenio se refleja en los clásicos literarios de finales de la dinastía Cheu, entre ellos los de Confucio (forma latinizada de Kong Fuzi, o «Maestro Kong», que vivió c. 551-479 a. C.). A comienzos de la dinastía Han había comerciantes ricos que abastecían a los nobles y los gobernantes, pequeños comerciantes que compraban y vendían en centros provinciales, y comerciantes ambulantes que compraban y vendían en las aldeas, integrando de este modo también a los aldeanos en las redes de comercio. Ch'ang-ngan (la moderna Sian), la capital Han, tenía casi 34 kilómetros cuadrados, un área mucho mayor que la de la Roma contemporánea, que sólo tenía 13 kilómetros cuadrados^[27]. Según el historiador imperial Sima Qian (que escribió a finales del siglo II a. C.), en las poblaciones grandes podían comprarse «bebidas alcohólicas, comidas preparadas, sedas, prendas de cáñamo, tintes, cueros, pieles, útiles de lacar, objetos de cobre y hierro^[28]». Una descripción de la misma época nos indica que estaba surgiendo una clase mercantil rica y con características propias, sin dejar de transmitir por ello ese aire de reconvenión con que los miembros de la nobleza tradicional trataban habitualmente a los comerciantes:

Los comerciantes acaudalados atesoran bienes y multiplican sus beneficios, mientras que los menos afortunados se quedan vendiendo en sus tiendas. Controlan los mercados y todos los días disfrutan de la vida en las ciudades. Se aprovechan de las acuciantes necesidades del gobierno para vender a precio doble del normal. Sus hijos no aran ni cavan la tierra. Sus hijas no crían gusanos de seda ni tejen. Tienen vestidos

hermosos y se atiborran de mijo y carne. Adquieren fortunas sin sufrir los padecimientos de los agricultores. Su riqueza les permite codearse con príncipes y marqueses y disponer de un poder mayor que el de los funcionarios^[29].

El aumento de la actividad comercial, por ofrecer nuevas fuentes de ingresos a los estados, podía tener al final consecuencias poco perceptibles pero importantes en los sistemas estatales. Pero era menos probable que transformara aquellos estados que podían recurrir fácilmente a fuentes tradicionales, como los impuestos sobre la tierra, sobre todo si eran imperios exactores grandes, como la China Han, que poseían vastos territorios. Sin embargo, allí donde los métodos fiscales tradicionales eran insuficientes, la extensión del comercio podía transformar incluso a los estados más poderosos. Esta mutación se observa en China durante el ciclo malthusiano posclásico. Tras el largo período de desorganización que siguió al declive de la última dinastía Han, a principios del siglo III d. C., China volvió a unificarse bajo las dinastías Sui (589-617) y Tang (618-906). Durante el reinado Tang, un fuerte gobierno central y una administración relativamente disciplinada posibilitaron el rápido crecimiento de la población urbana y de la actividad comercial, sobre todo en el sur. Los Tang fueron excepcionalmente aperturistas ante las influencias extranjeras, tanto en la religión (fue la gran época del budismo chino) como en el comercio. Pero a los Tang no les entusiasmaba la idea de apoyar las iniciativas comerciales privadas. Su base imponible era la tierra y hasta la rebelión de An Lushan (755-763) gestionaron los impuestos con una eficacia nunca superada. En consecuencia, no necesitaban ni les interesaban los ingresos procedentes del comercio. Los Tang, durante la mayor parte de su reinado, manifestaron por el comercio y las actividades comerciales, tanto interiores como exteriores, el desprecio que era tradicional. Por ejemplo, a los comerciantes no les estaba permitido presentarse a los exámenes para entrar en el funcionariado.

Sin embargo, los gobernantes de la dinastía Song (960-1276) estaban en una posición mucho más débil. Al declinar la dinastía Tang, en el siglo X, gran parte del norte de China quedó en poder de la dinastía K'i-tan (Lao). En 1125, la dinastía Song perdió lo que le quedaba de la China septentrional, que quedó en manos de la dinastía manchú de los Yurset (Kin). Obligados a desplazarse hacia el sur, donde proliferaba el comercio, los Song trasladaron la capital de K'ai-fong a Hang-cheu. Con los continuos problemas militares que había en el norte, sin los colosales ingresos tributarios que había dado la China unificada y en el ambiente emprendedor de la China meridional, los gobernantes de la siguiente dinastía Song empezaron a mirar con mejores ojos la actividad comercial y a los que se dedicaban a ella. En el siglo XII permitieron incluso que los comerciantes prósperos adquiriesen categoría oficial; y a Marco Polo le contaron que el emperador Song había invitado a su palacio a comerciantes ricos, algo impensable durante los Tang^[30]. Este cambio de actitudes se debió a las duras realidades fiscales. A mediados del siglo XIII, el 20 por 100 de los ingresos de los Song procedían de los impuestos sobre el comercio exterior, que

doscientos años antes habían alcanzado sólo el 2 por 100^[31]. No es de extrañar que los Song meridionales empezaran a fomentar la actividad comercial y la innovación tecnológica. Mientras que durante los Tang sólo se había permitido el comercio con el exterior en un puerto, el de Cantón, durante los Song se abrieron otros siete puertos. Para coadyuvar a este tráfico se construyeron durante los Song meridionales los avanzadísimos juncos. Disponían de brújula y timón de popa, mamparos estancos y cámaras especiales de flotación^[32]. También floreció el comercio interior, sobre todo en el sur, donde se disparó la demografía y se desarrollaron rápidamente redes comerciales con el sureste asiático y Japón. Para apoyar la creciente monetización, los Song acuñaron ingentes cantidades de monedas; hacia 1080 acuñaban alrededor de 6 millones de series al año (o lo que es igual, alrededor de 200 monedas por persona), mientras que los Tang no habían emitido por lo general más de 100 000 o 200 000 al año (unas 10 monedas por persona^[33]).

Ya hemos visto que las innovaciones que aumentan la eficacia suelen surgir más de los intercambios comerciales que de las medidas exactoras, en las que la coacción puede ocupar el lugar de la eficacia. Y que de los estados que miran con buenos ojos la actividad comercial y crean un medio político y jurídico de apoyo es razonable esperar signos de creciente apertura a las innovaciones. Esta ecuación parece confirmada en la historia de la dinastía Song, porque, a pesar de su debilidad política, su reinado fue una época de crecimiento e innovaciones asombrosos.

A mediados del siglo XI, China estaba dividida en tres grandes potencias: los Song, los K'i-tan (en el norte y el noreste) y el reino Tangut o Si Hia (en el noroeste). Este período de gobierno dividido fue el preludio de una época de innovación tecnológica extraordinaria que fue una especie de culminación del largo proceso de meridianización. Ante todo se revolucionaron las bases agrícolas de la economía Song. Según Mark Elvin:

la revolución agrícola [...] tuvo cuatro aspectos. (1) Los campesinos aprendieron a preparar mejor el suelo gracias a los nuevos conocimientos, a herramientas mejoradas o de nuevo cuño y a un uso más amplio del estiércol, el fango de río y la cal como fertilizantes. (2) Se introdujeron variedades de semillas que daban cosechas más abundantes, o eran más resistentes a la sequía, o que por madurar más aprisa permitían plantar a continuación para que hubiera dos cosechas al año en la misma tierra. (3) Se elevó el nivel de competencia de las técnicas hidráulicas y se construyeron redes de riego de una complejidad sin precedentes. (4) El comercio permitió la especialización en cultivos que no eran los cereales básicos y, por lo tanto, una explotación más eficaz de una variable gama de recursos^[34].

Elvin llega a la conclusión de que, en el siglo XIII, China tenía probablemente el sector agrícola más productivo del mundo, con la única posible excepción de la India.

Los gobiernos simpatizantes también fomentaron la innovación en otros sectores de la economía. El uso generalizado, por los gobiernos y los funcionarios, de la imprenta de tipos fijos (con planchas de madera) para difundir el conocimiento técnico permitió que se conocieran y divulgaran las últimas técnicas y las últimas investigaciones en metalurgia, armamento, agricultura, medicina e ingeniería. En la

fabricación del hierro se utilizó carbón y quizá también coque; y las estadísticas oficiales dicen que en 1078 se producían ya 113 000 toneladas al año, es decir, alrededor de 14 kilos por persona. Este nivel de producción multiplicaba por seis lo que normalmente se había producido durante los Tang y no fue igualado en Europa hasta el siglo XVIII^[35]. Por la misma época, dos fábricas de armas del gobierno producían al año 32 000 armaduras de tres tamaños. La producción de cobre creció tan bruscamente que en los glaciares de Groenlandia se aprecia el repentino aumento de la contaminación cúprica de la atmósfera en aquella época^[36]. También durante la dinastía Song se experimentó con la tecnología de la pólvora, aunque los primeros en aprovechar sus propiedades explosivas en la guerra fueron sus rivales del norte, los Yurset (Kin), en 1221. A finales del siglo XIII ya había cañones en China septentrional^[37]. En el siglo XI se había inventado asimismo una máquina de devanar la seda: fue el primer intento de mecanizar la producción textil que se conoce^[38]. También hubo inventos interesantes en los métodos de comercio (véase la figura 12.1). El gobierno incluso empezó a financiar la emisión de papel moneda a principios del siglo XI^[39].

Las innovaciones de esta época no fueron exclusivamente chinas y más bien reflejan la creciente predisposición de los gobiernos y los grupos privilegiados a explotar las últimas ideas productivas y comerciales, fuera cual fuese su procedencia. Gran parte de la innovación china se basaba en un arsenal de conocimientos que se había acumulado en otras áreas del sistema afroasiático. Por ejemplo, las variedades de arroz que sostenían la explosión demográfica del sur procedían de Vietnam. Muchas otras técnicas habían llegado de la India o del mundo islámico. Las técnicas hidráulicas habían conocido un gran desarrollo en el mundo islámico, donde el riego tenía una historia milenaria; y en la India se habían desarrollado los métodos de la manufactura textil. Las investigaciones de Joseph Needham sobre la tecnología china han puesto de manifiesto el virtuosismo tecnológico de China, pero es posible que sin querer hayan descuidado las tecnologías innovadoras de otras regiones del sistema mundial afroasiático^[40].

Pese a todo, los índices de innovación durante la dinastía Song fueron excepcionales. En realidad, el alcance de la comercialización y la innovación fue tan asombroso en aquella época que cualquiera diría que la China medieval estuvo a punto de vivir una revolución industrial propia. Pero si hubo revolución, no se sostuvo, y en consecuencia no pudo revolucionar el mundo. Hay tres motivos que explican por qué no precipitó un cambio general: en primer lugar, los factores que indujeron a los Song a proteger el comercio y la actividad empresarial fueron transitorios; en segundo lugar, que China estuviera en el borde y no en el eje de las redes afroasiáticas de intercambio ralentizó la difusión de sus innovaciones por otras regiones; y en tercer lugar, el conjunto del sistema mundial no era todavía

bastante grande o no tenía aún la cohesión suficiente para garantizar que las innovaciones chinas se adoptarían con rapidez en otras regiones.

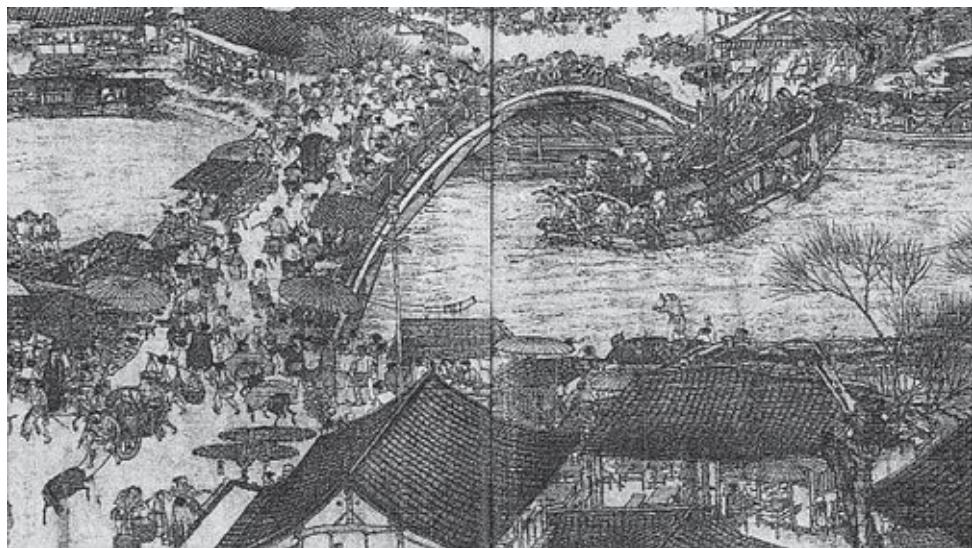


FIGURA 12.1. Actividad comercial en China durante la dinastía Song. Con permiso del Museo del Palacio de Pekín.

El sistema chino de estados rivales resultó inestable a la larga. La arraigada tradición de la unidad política y cultural y la perfecta cohesión de los sistemas de comunicaciones auguraban que China volvería a unificarse antes o después y que la riqueza tecnológica de la época Song se dedicaría, una vez más, a consolidar a una poderosa dinastía común. La verdad es que este proceso culminó en 1279, cuando los mongoles de Kublai Kan conquistaron el sur de China. Consumada la nueva unidad, desaparecieron dos de las tres condiciones que movían a los estados a proteger la expansión comercial (el tamaño territorial y la competencia), y la tercera (el fácil acceso a sistemas comerciales muy concurridos) no tardó en desvanecerse. China dejó de ser una región de estados vulnerables, competitivos y dispuestos a conseguir ingresos como fuese. Durante las dinastías Yuan y Ming, los ingresos estatales volvieron a obtenerse con los procedimientos de exacción más tradicionales, como gravar con impuestos al campesinado^[41]. El solo tamaño de la China unificada dificultaba mucho que los ingresos procedentes del comercio pudieran competir con los derivados de los métodos más tradicionales. Durante los siglos que siguieron, la tremenda inercia de este gigantesco sistema hizo que el abandono de los métodos tradicionales fuera más complejo y difícil de lo que habría sido en una región de estados rivales menores.

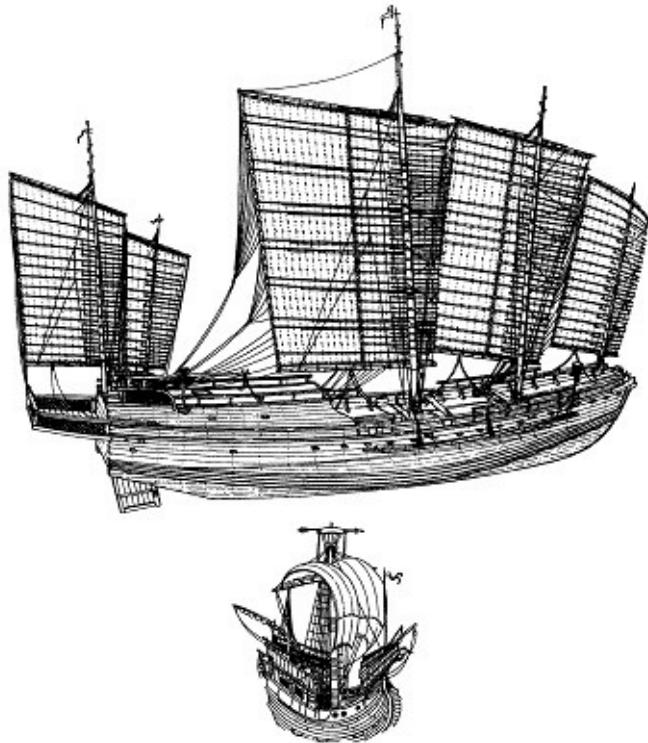


FIGURA 12.2. Construcción naval en China y Europa en el siglo XV. Arriba: reconstrucción de uno de los barcos del almirante chino Yeng He. Entre 1405 y 1433, Yang He se puso al frente de siete grandes flotas de hasta 60 embarcaciones y 40 000 soldados que recorrieron las costas de la India, el suroeste asiático y África oriental, con mapas asombrosamente exactos de todas las tierras que visitaban. Sus embarcaciones mayores tenían compartimientos estancos bajo cubierta y cinco veces la eslora de la carabela colombina *Santa María* (abajo). Colón zarpó cincuenta años después de la última expedición de Yeng. Su flota carecía de las perfecciones tecnológicas de las flotas chinas y tenía una idea bastante menos exacta de su punto de destino. Sin embargo, las naves de Colón eran más manejables y probablemente más aptas para explorar mares desconocidos. Con permiso de Relics Publishing House, Pekín.

Los gobiernos chinos del siglo xv se desentendieron casi totalmente de las redes del comercio internacional, aunque muchos súbditos siguieron comerciando, a pesar de los redoblados obstáculos con que tropezaban. Las tradiciones navales de los Song siguieron vigentes hasta el siglo xv. Entre 1405 y 1433 partieron hacia el oeste, a las órdenes del eunuco musulmán Yeng He, siete expediciones independientes que llegaron a tener hasta sesenta naves y 40 000 soldados (véase la figura 12.2^[42]). Pasaron por Ceilán, La Meca y África oriental, y es posible que incluso atracaran en el norte de Australia. Pero no fueron expediciones fundamentalmente comerciales y el gobierno que las financió no buscaba tanto ingresos comerciales como el sometimiento simbólico a la autoridad de China. No es de extrañar que tuviera un interés limitado en la continuidad de la empresa, ya que las expediciones resultaron en extremo onerosas. Al final, tras llegar a la conclusión de que era mejor gastar el dinero protegiendo sus vulnerables fronteras septentrionales, el gobierno Ming dejó de sufragar estas costosas aventuras. Unas décadas después prohibieron todos los fletes chinos, aunque algunos comerciantes se las ingeniaron para burlar las restricciones de un modo u otro.

El otro factor que amortiguó el impacto de la revolución económica Song fue la situación geográfica de China, que estaba en el borde de la red de intercambios afroeuroasiática. Aunque el volumen de los intercambios que se producían en China era enorme, las redes chinas no llegaban tan lejos ni transmitían tanta diversidad de información y bienes de consumo como las redes de las regiones axiales, por ejemplo la de la patria islámica de Mesopotamia; así pues, su influencia en otras áreas del mundo afroeuroasiático fue limitada. Es verdad que las innovaciones chinas tuvieron consecuencias en otros lugares; muchos inventos, como la imprenta de tipos móviles, el papel moneda (y la tecnología de la fabricación del papel) y la pólvora llegaron a Occidente, donde con el tiempo tuvieron una influencia revolucionaria. Además, el gran impulso comercial chino atraía a los comerciantes extranjeros, que viajaban a Oriente por mar y por tierra. Pero estos progresos causaron poco impacto *inmediato* fuera de China.

Por último, y en relación con el punto anterior, las redes afroeuroasiáticas tenían una cohesión débil y estaban aisladas de las redes de otras zonas mundiales. La lentitud con que se adoptaron en el extranjero las innovaciones chinas da a entender que ni en China ni en el resto del mundo existían las condiciones necesarias para que se produjera una revolución industrial internacional. Los intercambios de bienes de consumo, ideas y riqueza estaban todavía maniatados por tecnologías de las comunicaciones que habían cambiado poco desde el I milenio a. C. Una prueba de la limitación de los intercambios informativos es lo poco que se sabía sobre China en la Europa medieval, una ignorancia sólo comparable a la propia ignorancia de los chinos sobre Afroeurasia occidental.

En resumen: durante el ciclo malthusiano posclásico, las redes de intercambio afroeuroasiáticas, aunque no estuvieron tan conectadas como en la época moderna, estuvieron más integradas que nunca y la actividad comercial floreció en las principales civilizaciones agrarias. Las innovaciones se produjeron con más rapidez que en la era clásica, sobre todo en la época de prosperidad de los Song. Y gran parte de las innovaciones, en esta era como en las anteriores, procedía de estados donde los gobernantes se aliaban con grupos mercantiles y se integraban en vastas redes de intercambio comercial e informativo.

PRIMERA PARTE DEL CICLO MALTHUSIANO MODERNO: DEL SIGLO XIV AL XVII

La primera red global de intercambios

En el siglo xv, pasada la crisis causada por la peste negra, la población volvió a crecer en toda Afroeurasia. Una vez más, el crecimiento de la población fomentó el comercio y la expansión urbana. Las redes comerciales del ciclo anterior, en decadencia durante parte del siglo XIV y el xv, se reactivaron a comienzos del

siglo XVI, aunque con un alcance mayor. Los comerciantes europeos desempeñaron un papel importante en la formación de estas conexiones, que ahora se establecían sobre todo por vía marítima. Y la actividad de los comerciantes y los marinos, por lo general con respaldo gubernamental, produjo al final uno de los adelantos más significativos de este período: la formación de las primeras redes de intercambio que daban la vuelta al mundo. Salvar el Atlántico a comienzos del siglo XVI fue un acontecimiento de gran trascendencia histórica y no es casualidad que casi todos los historiadores de la modernidad, sobre todo los de la tradición marxista, lo hayan puesto entre los acontecimientos más destacados del pasado milenario. Como dijo el propio Marx, «el comercio mundial y el mercado mundial datan del siglo XVI, momento en que empieza la historia moderna del capital^[43]».

El primer sistema mundial que apareció en el siglo XVI unió los mercados de Afroeurasia, América, el África subsahariana y, con el tiempo, también los de Melanesia, Australia y Polinesia^[44]. Este sistema tenía casi dos veces el tamaño de los sistemas que habían existido hasta entonces y por él circulaba una gama mucho más variada de bienes y recursos. Este tamaño y la escala de los intercambios que se producían en su interior daban a entender que había en circulación más riqueza que nunca. El volumen de esta riqueza que fluía por los sistemas internacionales de intercambio acentuó la diferencia entre los depósitos de riqueza mayores y menores, y aumentó la influencia de los comerciantes y los financieros que gestionaban los intercambios. El creciente abismo entre ricos y pobres dinamizaba multitud de flujos comerciales, y el «voltaje» económico que se acumulaba en el nuevo sistema global movía un motor comercial de potencia sin precedentes. La plata que los españoles se llevaron de América dinamizó el comercio europeo y mundial, y la que no circuló por Europa llegó a la India por las Filipinas y luego a China. La demanda china de plata (potenciada por la devaluación de los billetes y las monedas de cobre, la difusión del comercio en el medio rural y la monetización del sistema tributario) disparó el comercio mundial de la plata^[45].

Pero había otros intercambios igual de importantes. En *El intercambio transoceánico*, Alfred Crosby describe la circulación en ambos sentidos de cultivos, tecnologías y personas, incluso la de bacterias patógenas desencadenada por la unión de los sistemas mundiales afroasiático y americano. El intercambio de enfermedades condenó a la integración global a ser un proceso destructivo para las zonas mundiales menores. Los intercambios de enfermedades en las regiones más densamente pobladas de Afroeurasia había aumentado hacia 1500 la inmunidad general en toda esta zona mundial. Pero este fortalecimiento no se produjo en América ni en las comunidades, más aisladas, de las zonas mundiales de Australasia y el Pacífico. Así, cuando los europeos llegaron a América con sus propios microbios, murieron infinitamente más americanos de enfermedades europeas que europeos de enfermedades americanas^[46].

Nuestras cifras no son más que modestas conjeturas, pero el descenso de la población que se produjo en el siglo XVI en las regiones más densamente pobladas de Mesoamérica y el Perú fue realmente catastrófico: la población descendió alrededor del 70 por 100 y en el conjunto del continente americano parece que descendió entre el 50 y el 70 por 100^[47]. A los contemporáneos de ambos lados de la divisoria no les pasó por alto esta desigualdad en el intercambio de enfermedades. Como dijo un nativo del Yucatán, antes de la llegada de los europeos «no había enfermedades; no había dolores de huesos; nadie tenía fiebre, nadie tenía viruela [véase la figura 12.3]; a nadie le quemaba el pecho; nadie tenía dolores de vientre; nadie tenía tisis; nadie tenía dolores de cabeza. La humanidad marchaba bien en aquellos tiempos. Cuando llegaron los extranjeros, cambiaron las cosas^[48]». Los ingleses de la colonia de Roanoke Island hicieron observaciones parecidas en 1585, pero desde el otro lado de la frontera epidemiológica. Thomas Hariot, el inspector de la colonia, escribió que tras pasar por los pueblos y aldeas indígenas,

unos días después de nuestra partida la población empezó a morirse con rapidez y muchos en breve tiempo; en unos pueblos alrededor de veinte, en otros cuarenta, en otros sesenta y en uno ciento veinte, lo que en verdad fue mucho dada la cantidad de habitantes. [...] Las enfermedades eran allí tan raras que ni siquiera sabían qué eran ni cómo se curaban; según contaron los más ancianos del país, nunca había ocurrido cosa igual^[49].

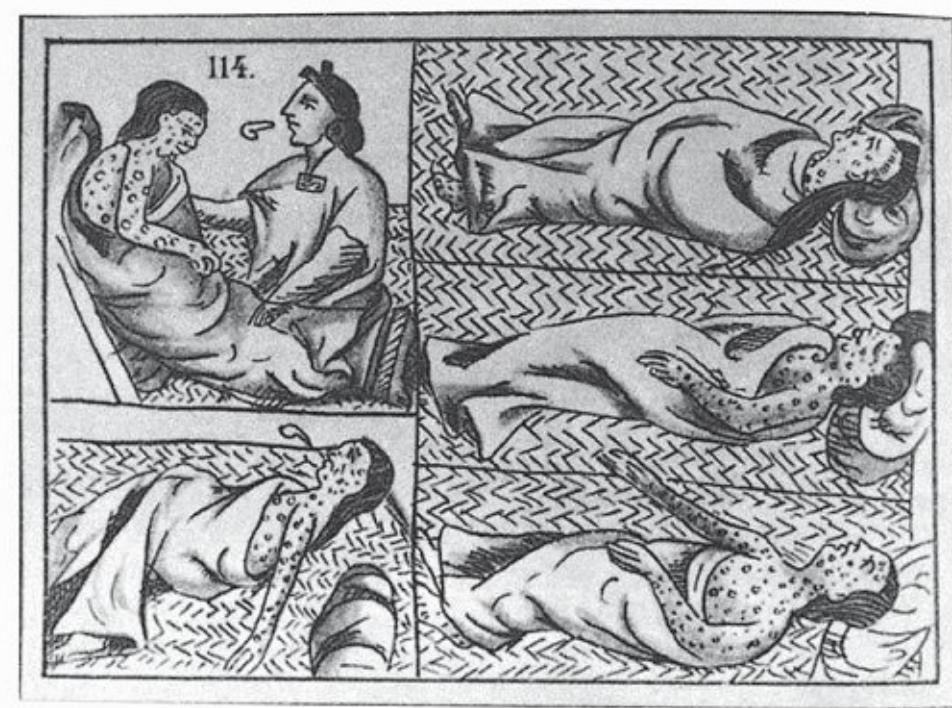


FIGURA 12.3. Aztecas víctimas de la viruela en el siglo XVI, según una historia española de «Nueva España». Tomado de Alfred Crosby, *Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900-1900*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, lámina 9; procedente de *Historia de Nueva España*, de Bartolomé de Las Casas, vol. 4, libro 12, lám. CLIII, ilustr. 114. Con permiso del Peabody Museum of Archaeology and Ethnology de la Universidad de Harvard.

Cuando los europeos llegaron a Australasia y el Pacífico, las poblaciones indígenas sufrieron las consecuencias con una violencia parecida. En términos generales, los africanos subsaharianos se libraron, porque siempre habían formado parte de las grandes redes afroeurasiáticas y, de todos modos, vivían en un medio microbianamente más peligroso aún que la mayoría de los euroasiáticos. Las enfermedades euroasiáticas eliminaron poblaciones indígenas por doquier, facilitando así la instalación de los emigrantes europeos que con el tiempo convirtieron amplios territorios de las zonas mundiales menores en colonias euroasiáticas, con cultivos, animales, plagas y enfermedades euroasiáticos^[50].

Mientras la introducción de los animales y cultivos euroasiáticos transformaba la economía, las estructuras sociales y las redes de intercambio de América, la introducción de los cultivos americanos causó en Eurasia un impacto casi del mismo calibre. De América llegaron el maíz, las alubias, los cacahuetes, distintas variedades de patata, el boniato, la mandioca, la calabaza, la calabaza vinatera, la papaya, la guayaba, el aguacate, la piña, el tomate, la guindilla y el cacao^[51]. La mandioca es hoy el principal producto de muchas regiones tropicales de la zona afroeurasiática; el maíz y las patatas son productos principales en muchas zonas templadas. Los productos americanos se adoptaron antes en China, donde los introdujeron los portugueses en el siglo XVI, que en el resto de Afroeurasia^[52]. Los boniatos se cultivaban ya en 1560-1570 y más de la tercera parte de lo que se cultiva hoy en China es de origen americano^[53]. Como estos cultivos prosperaron allí donde los productos más conocidos no crecían tan bien, los cultivos americanos ampliaron la superficie de tierra cultivable y, por lo tanto, potenciaron el crecimiento demográfico en muchas áreas de Afroeurasia a partir del siglo XVI.

Pautas del crecimiento y la innovación

Los vastos flujos de riqueza e información que se generaron en este período tuvieron un profundo impacto en los estados y sociedades de todo el orbe. En América, el impacto inicial fue rápido y destructivo. La integración global causó la muerte de millones de individuos y el fin de los imperios, estados, culturas y religiones tradicionales. Y la pauta se repitió en cada mundo que visitaban los europeos, desde Mauricio hasta Hawái.

Los efectos fueron menos evidentes y tardaron más en manifestarse en la zona afroeurasiática. Pero las nuevas y dilatadas redes de intercambio, el crecimiento demográfico, la actividad del estado y la difusión del comercio fomentaron el desarrollo y la innovación en gran parte de Afroeurasia y desde luego en las zonas centrales más densamente pobladas. En palabras de Joel Mokyr:

La edad de los descubrimientos fue [...] la edad de las consecuencias de quedar al descubierto, porque el cambio tecnológico se basó sobre todo en la observación de las tecnologías y los cultivos ajenos y en llevárselos a otra parte. Los dinámicos europeos adoptaron cultivos americanos a cambio de los animales, el trigo y las vides que introdujeron en el Nuevo Mundo. Además, llevaron flora americana a África y Asia, y viceversa, organizando un tráfico masivo que habría podido calificarse de arbitraje ecológico. Por ejemplo, introdujeron los plátanos, el azúcar y el arroz en el Nuevo Mundo, y la mandioca en África, donde acabó siendo el principal producto de muchas regiones^[54].

Los aumentos de población se debieron en parte a la «innovación» de utilizar cultivos americanos en Europa, China y África. El cultivo de estos nuevos productos exigió una serie de innovaciones agrícolas menores, por ejemplo distintos modelos de rotación de cultivos y varias formas de arar y de regar. Los nuevos cultivos fueron especialmente importantes en China, porque podían plantarse en terrenos no aptos para el arroz; también produjeron grandes cambios en África^[55]. Pero también hubo adelantos notables en la navegación y en la marina de guerra (que aportó los recursos tecnológicos para la formación de un sistema mundial unificado en el siglo XVI), en las tecnologías mineras, en el arte de la guerra y en los métodos comerciales.

Sin embargo, los índices de innovación fueron hasta cierto punto normales y en ningún lugar llegaron al nivel que se alcanzaría durante la revolución industrial. Incluso en Europa, donde la aparición del sistema global produjo el máximo impacto comercial inmediato, la innovación tecnológica fue sorprendentemente lenta, en los siglos centrales del milenio, en los sectores no relacionados con la guerra, la navegación, la fabricación de instrumentos y la metalurgia^[56]. Como observa Peter Stearns:

La tecnología [de 1700] y los métodos de producción occidentales siguieron anclados en las tradiciones básicas de las sociedades agrarias, sobre todo en lo que se refiere a depender de la fuerza humana y animal. Los métodos agrícolas apenas habían cambiado desde el siglo XIV. La producción, a pesar de algunas técnicas nuevas, siguió combinando habilidad y herramientas manuales, y por lo general tenía lugar en talleres muy pequeños. La respuesta occidental más trascendente a las nuevas oportunidades manufactureras fue una notable ampliación de la producción rural (interior), sobre todo de artículos textiles, pero también de pequeños objetos metálicos^[57].

Los efectos a gran escala que produjeron en Afroeurasia las nuevas redes globales de intercambio fueron menos perceptibles y menos directos. En todas las regiones centrales creció la población y se amplió la actividad comercial. En China, la población pasó de 70 a 150 millones de habitantes aproximadamente entre 1400 y 1700. La población de la India pasó, en el mismo período, de 74 a 175 millones, y en Europa, de 52 a 95 (véase la tabla 11.1). Según una estimación reciente, la población asiática siguió aumentando más aprisa que la europea hasta bien entrado el siglo XVIII, momento en que Asia contenía alrededor del 66 por 100 de la población mundial y producía casi el 80 por 100 del valor total de los bienes y servicios del planeta^[58]. Los historiadores han tendido a creer que el crecimiento demográfico aumentó la pobreza de Asia oriental en esta época, pero se trataba de un prejuicio infundado. Por el contrario, parece que, como ha señalado André Gunder Frank,

hasta 1750 o 1800, los asiáticos llevaron la delantera en la economía y el sistema mundiales, no sólo en población y producción, sino también en productividad, competitividad y comercio; en suma, en producción de capital. Además, y en contra de los mitos que se han forjado los europeos hasta ayer mismo, los asiáticos tenían la tecnología y fomentaron las instituciones económicas y financieras que correspondía. Así pues, el «locus» de la acumulación y el poder del sistema mundial moderno no cambió gran cosa en aquellos siglos. China, Japón y la India iban en cabeza, y el sureste asiático y Asia occidental les pisaban los talones^[59].

Como ya se ha observado, el predominio de las economías asiáticas no pasó inadvertido a observadores europeos como Adam Smith, ya a finales del siglo XVIII. Y Europa no llevaba todavía la delantera a nivel tecnológico. Philip Curtin dice que, en el siglo XVII,

no había empezado aún la «edad europea» de la historia universal. La economía de la India era todavía más productiva que la de Europa. Incluso la productividad per cápita de la India o China, aunque muy baja según los parámetros de los últimos tiempos, era probablemente mayor que la de Europa en el siglo XVII. El liderazgo tecnológico europeo sólo era indiscutible en sectores especializados como el de los transportes marítimos, en el que avanzó muchísimo en los siglos XVI y XVII la construcción de buques de vela. Por lo demás, era Europa quien importaba manufacturas de Asia, y no al revés^[60].

Que durante todo este período gravitaran hacia Asia los excedentes de plata confirma la centralidad de Asia en el naciente sistema mundial de comercio. Y estos cambios no fueron superficiales: la actividad comercial afectó a todos los niveles de la sociedad. Los gobiernos chinos del siglo XVII empezaron a dejar de recaudar los impuestos en especie para recaudarlos en metálico, un claro indicio de la medida en que había llegado al sector rural la expansión del comercio. Como ha dicho Kenneth Pomeranz, indicadores como el consumo de azúcar o de artículos textiles y otros productos secundarios, así como las estadísticas de la esperanza de vida, nos dan a entender que, en el siglo XVIII, la calidad de vida era en China tan alta como en Europa^[61].

Según todos estos indicadores, la fase de expansión de principios del ciclo malthusiano moderno, a pesar de la gigantesca ampliación de la escala de las redes de intercambio, fomentó un moderado nivel de innovación, no las alturas que son características de la era moderna. Por tanto, habría sido lógico esperar que, antes o después, la mayor parte del planeta se precipitase en una u otra modalidad de decadencia malthusiana. En gran parte de Afroeurasia hubo una ralentización del desarrollo en el siglo XVII, aunque no fue ni mucho menos tan brusca como la que se había producido al final del ciclo precedente. El desarrollo se reanudó poco después en los puntos más dispares del mundo, incluso en regiones como la India y China, que quedaron rezagadas en el siglo XIX. Observadores como Adam Smith y Thomas Malthus tenían buenos motivos, todavía en 1800, para suponer que la pauta de los ciclos malthusianos que se había detectado en la era de las civilizaciones agrarias era un rasgo permanente de la vida económica^[62]. Algunos investigadores modernos han sostenido que, de no haberse dado un par de circunstancias bastante casuales, como la

abundancia de yacimientos carboníferos en Gran Bretaña, se habrían cumplido sus previsiones^[63].

Pero a comienzos del ciclo malthusiano moderno hubo otros cambios que prepararon el camino de los decisivos progresos del siglo XIX.

El impacto del comercio en las sociedades con régimen tributario

Los modelos de innovación que apelan a la estructura social dan a entender que deberíamos esperar que la innovación más rápida se produzca allí donde todos los sectores sociales están integrados en las redes comerciales y donde en consecuencia están condicionados por las leyes de la eficiencia y la productividad que permiten el éxito en un entorno comercial competitivo. La versión simplificada de los modelos marxistas que se ha ofrecido en el capítulo anterior se centra en las consecuencias que tuvo la expansión del comercio en dos sectores fundamentales: por un lado, la influencia y el poder crecientes de las clases mercantiles; por otro, la creciente incorporación de la población rural (la mayoría de la población en casi todas las civilizaciones agrarias) a toda clase de actividades comerciales, hasta que las deudas o el embargo separan de la tierra a los individuos, que pasan a ser trabajadores asalariados cuya vida depende por entero de las redes comerciales.

Hay muchos estudios de tradición marxista que han analizado estos temas y alegado que en casi todas las regiones centrales de la zona afroeurasiática estaban en marcha estos procesos. Mercados y comerciantes eran de importancia vital para el funcionamiento de las sociedades agrarias, incluso las más tradicionales. Estados menos mercantilizados como Polonia o Moscova protegían activamente el comercio y, donde era posible, la expansión colonial, sobre todo en regiones potencialmente aprovechables como las tierras de Siberia, abundantes en pieles. De este modo, amplias áreas del mundo habitadas por sociedades basadas en el parentesco cayeron en los engranajes de las redes comerciales de intercambio, por lo general con profundas repercusiones en su forma de vida tradicional^[64].

Estos cambios podían transformar los estados, porque la creciente dependencia respecto de los ingresos procedentes del comercio menguaban la importancia relativa de los ingresos tradicionales, procedentes de los tributos feudales o de los impuestos sobre la tierra, y obligaban incluso a los grandes estados exactores a preocuparse más por las actividades comerciales. Como en muchos estados tradicionales, los gobiernos de Moscova hicieron monopolio suyo casi todo el comercio lucrativo, por ejemplo el de pieles y el de metales preciosos. Pero en el siglo XVII buscaron la forma de gravar también los sectores comerciales interiores e impusieron tasas sobre la venta de sal y en particular sobre la venta de vodka. Estos productos eran estratégicos, porque en un país donde casi todos los campesinos eran en gran medida autosuficientes, eran los únicos productos que no podían producirse en la unidad familiar y, por lo tanto,

tenían que comprarse. La sal se necesitaba para conservar los alimentos y el vodka no tardó en ser un componente esencial de los rituales religiosos y sociales de las aldeas. En 1724, las tasas sobre la venta de licor constituyan el 11 por 100 de los ingresos de la administración; a principios del siglo XIX, las tasas sobre el vodka eran la principal fuente de ingresos y representaban entre el 30 y el 40 por 100 de los ingresos totales del estado^[65]. Conforme ganaban importancia los ingresos procedentes del comercio, el gobierno ruso se encontró con que, a pesar de su hostilidad manifiesta hacia los comerciantes, tenía que negociar con ellos. En varios momentos de la década de 1850 temió la posibilidad de una bancarrota, ya que los poderosos comerciantes que controlaban el licor podían rechazar las condiciones que les ofrecía. Este caso de transformación del régimen fiscal es muy curioso, porque el imperio ruso siguió siendo en muchos aspectos una sociedad exactora clásica hasta bien entrado el siglo XIX.

La expansión del comercio afectó al sector rural tanto como a las ciudades y a los estados. En realidad, a mediados del II milenio d. C. había pocas zonas rurales dentro de las grandes civilizaciones de Afroeurasia en que los campesinos no estuvieran relacionados con una u otra clase de comercio. Y en todas estas civilizaciones había un gran número de individuos que dependían cada vez más únicamente del trabajo asalariado. El sector rural chino se comercializó pronto. Mark Elvin observa que en la China Song, ya en 1000 d. C.,

el creciente contacto con el mercado convirtió al campesinado chino en una clase de pequeños empresarios versátiles, sensatos y orientados hacia el beneficio. La gama de los oficios se amplió en el sector rural. En los montes se plantaban árboles para proveer de madera a la creciente industria de la construcción naval y de viviendas en las ciudades en expansión. Se producían verduras y fruta para el consumo urbano, y toda clase de aceites para cocinar, iluminar, impermeabilizar, untarse el pelo y preparar medicamentos. El azúcar se refinaba, se cristalizaba y se empleaba como conservante. El pescado se criaba en estanques y embalses, hasta el extremo de que cuidar de los pececillos recién nacidos para aumentar las existencias se convirtió en una actividad productiva de primer orden. [...] Cultivar moreras para aprovechar las hojas fue una actividad lucrativa y había mercados especiales de moreras jóvenes. Los campesinos también fabricaban objetos de laca y herramientas de hierro^[66].

Cuento más mercantilizadas estaban las regiones, más variadas eran las posibilidades de los campesinos de generar ingresos comerciales. Podían vender sus excedentes agrícolas o especializarse en productos comerciales como los lichis y las mandarinas; podrían fabricar y vender fibras o dedicarse a otros oficios de ocupación parcial; podían enviar a algunos miembros de la familia a las ciudades en busca de trabajo asalariado. Conforme aumentaban sus ingresos procedentes de la actividad comercial, los campesinos de toda Afroeurasia pasaban del sometimiento a las leyes tributarias al sometimiento a las leyes del comercio. Ya no bastaba con pagar el tributo exigido por los terratenientes o los estados; además tenían que adaptarse a los niveles de productividad o calidad exigidos por los clientes o por los empresarios, ya fuesen los importadores europeos de lana o los comerciantes en madera de los pueblos colindantes. Y de este modo, unas veces muy aprisa, otras de manera casi

imperceptible, los campesinos acabaron siendo o pequeños empresarios o trabajadores asalariados.

Pero estos procesos tenían un límite en China, al igual que en gran parte del resto de Afroeurasia. Aunque totalmente dedicados a una clase u otra de comercio, los campesinos se resistieron a dar el último paso, que era cortar totalmente sus vínculos con la tierra, y los gobiernos, acostumbrados a los tradicionales impuestos sobre la tierra, apoyaban a menudo su resistencia. Como dice R. Bin Wong, en la China del siglo XVIII «muchos campesinos eran propietarios de su explotación, por lo menos en parte, y muchos arrendaban algún lote de tierra. Prácticamente toda la tierra se trabajaba al nivel de producción de la unidad familiar; fueron pocos los terratenientes que ampliaron sus bases de producción directa en respuesta a las oportunidades del mercado^[67]». Los campesinos tradicionales solían conservar un acentuado compromiso ético con el antiguo principio de que tenían derecho a la tierra; creían que la tierra no era algo que se compraba y se vendía, como los costales de grano. Estas actitudes perduraron en muchos países hasta bien entrado el siglo XX. En una petición enviada en 1906 a los diputados procampesinos del recién fundado parlamento ruso, los amotinados soldados campesinos reclamaban:

En nuestra opinión, la tierra es de Dios, la tierra debería ser libre, nadie debería tener derecho a comprarla, venderla o hipotecarla; el derecho de compra viene bien a los ricos, pero para el pobre es un derecho muy perjudicial. [...] Los soldados somos pobres, no tenemos dinero para comprar tierra cuando nos licencien y volvamos a casa, y todos los campesinos necesitan la tierra desesperadamente. [...] La tierra es de Dios, la tierra no es de nadie, la tierra es libre y esta tierra libre de Dios deberían trabajarla los trabajadores libres de Dios, no braceros contratados por los terratenientes y kulaki [campesinos ricos]^[68].

Aunque el sector rural chino estaba muy comercializado en el siglo XVIII, las estructuras de la propiedad y el control de la tierra ponían límites a la integración de la mayoría de la población en las redes comerciales. Y según los modelos marxistas tradicionales, estos límites estaban condenados a restringir a largo plazo los índices de innovación.

Las actitudes y prácticas comerciales habían calado hondo en la vida rural e incluso afectado a las costumbres de los gobiernos en algunos de los imperios exactores más tradicionales, pero no habían minado aún las estructuras de poder y de producción características de las sociedades agrarias tradicionales.

UNA NUEVA TOPOLOGÍA SOCIAL: EL CAMBIANTE PAPEL DE EUROPA

La mercantilización de las estructuras sociales, políticas y económicas llegó más lejos en Europa occidental que en ningún otro lugar de la zona afroeuroasiática. Las sociedades europeas eran jóvenes y más maleables que las de las regiones centrales, que eran más antiguas; sus estados eran menores y más sensibles a las presiones comerciales internacionales; y por motivos que se comentarán más abajo, también

estaban más abiertas a las actividades comerciales; y quizá lo más importante de todo: la cambiante topología de las redes globales de intercambio permitió que, a comienzos del ciclo malthusiano moderno, el volumen, variedad y frecuencia relativos de los intercambios informativos y comerciales que pasaban por Europa fueran mayores que en el resto del mundo.

La cambiante topología de los intercambios globales

La creación de una red global de intercambios afectó a Europa de manera decisiva, porque se produjo con un reajuste de la topología de los intercambios globales. En la escala mayor, las estructuras de los sistemas de intercambio de la zona afroeuroasiática se habían mantenido relativamente estables durante milenios, con regiones axiales en el extremo oriental del Mediterráneo, el norte de la India y Asia central; desde el I milenio a. C. el centro de gravedad se había desplazado hacia el este, hacia las regiones más densamente pobladas del norte de la India y China. Pero con la unión de las zonas mundiales afroeuroasiática y americana se formó de pronto otra región axial en Europa occidental y toda la costa atlántica por la que pasaban la mayoría de los intercambios que se producían entre Afroeurasia y América. Lo que había sido una región periférica de la zona afroeuroasiática pasó a ser repentinamente el eje más importante de la mayor red de intercambios que había existido en la historia. Aunque el centro de gravedad de los sistemas globales de intercambio seguía estando en el Lejano Oriente todavía en 1800 d. C., en la nueva región axial de Europa occidental había mayor diversidad en los intercambios.

Fue un hecho de enorme trascendencia, sobre todo para el futuro de Europa. En cierto modo fue contingente. Europa estaba en el lugar idóneo para sacar provecho de los crecientes intercambios de la naciente red global. Tras haber estado durante milenios en la periferia del sistema afroeuroasiático, tuvo la suerte de encontrarse en el siglo XVI en el eje de red de intercambios más grande y variada de la historia. Estar de pronto en el centro de la nueva red global revolucionó la vida de toda la región. El material de intercambio que pasaba ahora por Europa era mucho mayor que nunca. El caudal de plata que circuló entre América y el Lejano Oriente, pasando por Europa y el mundo islámico, entre los siglos XVI y XIX, es sólo un ejemplo entre otros del crucial papel mediador que desempeñó Europa^[69]. Así pues, es evidente que no necesitamos apelar a la excepcionalidad de Europa para explicar el destacado papel de este continente en el mundo moderno, del mismo modo que no tenemos por qué entender la aparición de la civilización urbana en Sumer como un signo de la excepcionalidad de esta región. Como ha dicho Andrew Sherratt:

Europa occidental tropezó con un papel nuevo gracias al descubrimiento del Nuevo Mundo y el crecimiento de los vínculos atlánticos. No hay, pues, ninguna relación predeterminada entre el desarrollo social o económico y el medio por el que se desarrolla una región; desde el punto de vista local, el cambio

suele ser arbitrario e imprevisible. La ampliación del sistema mundial y las modificaciones de su forma y sus conexiones imponen a las regiones papeles inesperados para los que en su momento suelen parecer poco aptas^[70].

Al igual que en Sumer más de 4000 años antes, un aumento brusco en la escala de los intercambios y un repentino reajuste de las redes potenciaron y posibilitaron una escala de inversión inédita en lo que hasta entonces había sido un páramo^[71].

Pero no deberíamos exagerar tales contingencias, porque la situación estratégica de Europa no era totalmente aleatoria. Había otras regiones de la zona afroeuroasiática que también estaban en condiciones de construir y mantener flotas mercantes capaces de dar la vuelta al mundo, flotas parecidas quizá a las capitaneadas por el almirante Ming Yeng He a comienzos del siglo xv. Si se hubieran decidido, es posible que los ejes del nuevo sistema global hubieran sido ellas y no el litoral atlántico. Un mundo en el que el eje y el centro de gravedad hubieran coincidido en China habría podido generar una revolución moderna más rápida y caótica que esta que conocemos, que tiene el eje en un lugar del mundo y el centro de gravedad en otro situado a mucha distancia. La topología del nuevo sistema no estuvo determinada sólo por la geografía: Europa pasó a ser el eje del nuevo sistema global de intercambios, entre otras cosas porque estaba predisposta a desempeñar el papel.

Las sociedades de Europa occidental estaban excepcionalmente preparadas para sobrevivir en el nuevo sistema comercial global que apareció en el siglo xvi, y ello por dos razones. Primera, eran jóvenes y flexibles. En el noroeste de Europa los estados habían surgido en los últimos 1500 años. Por entonces ya había estados poderosos y florecientes hacia más de 3000 años en Mesopotamia y al menos 2000 en China. El buen resultado de estos grandes estados exactores señala la medida en que sus estructuras políticas y militares, sus alianzas de clase y sus valores estaban adaptados a la ecología social y política de la era agraria. En cambio, los jóvenes estados europeos aparecieron en un mundo más mercantilizado. Sus estructuras y tradiciones de gobierno, sus actitudes y alianzas de clase características y sus tradiciones militares estaban adaptadas a un medio sociopolítico muy distinto. Obviamente, había grandes diferencias entre unos estados europeos y otros, diferencias que se analizan de manera magistral en *Coerción, capital y los estados europeos: 990-1992* (edición revisada 1992). Sin embargo, la regla general es que los sistemas estatales de la Europa mediterránea (y los estados coloniales de América a un nivel incluso mayor) desarrollaron sus estructuras y actitudes básicas en un mundo más mercantilizado que el de la era clásica.

Segunda: el sistema estatal europeo se caracterizó por una serie de rasgos que ya hemos visto (en el capítulo 10) y cuya acción combinada hizo que los grupos de poder fueran más tolerantes con el comercio. En Europa occidental, a diferencia de lo ocurrido en Mesopotamia y China, no aparecieron más imperios exactores tras el hundimiento de los que habían gobernado la región en la era clásica. El Sacro Imperio Romano aspiró a desempeñar este papel, pero no lo consiguió. En

consecuencia, Europa occidental cristalizó como un mosaico de estados pequeños, en competencia incesante y cerca de las principales rutas comerciales del mundo mediterráneo. Es una articulación que ya conocemos^[72]. En períodos de comercialización limitada, como el que fue testigo del florecimiento de las ciudades-estado de la Grecia clásica, estos factores creaban sistemas comercial y militarmente audaces que podían llegar a ser sorprendentemente poderosos. Sus comerciantes recorrían gran parte del mundo conocido; y como ya se ha señalado, sus ejércitos llegaban en ocasiones a desafiar a los gigantes del mundo exactor, como las ciudades-estado griegas, que derrotaron a los persas en Maratón y Salamina. Pero no podía esperarse que sustituyeran a los grandes imperios por tiempo indefinido. En el mundo del siglo XVIII, mucho más mercantilizado, las parecidas diferencias entre los estados y las regiones podían resultar más decisivas.

Estos dos factores explican por qué las sociedades europeas estaban ya bien adaptadas a las realidades económicas, políticas y militares de un mundo en extremo mercantilizado. Más concretamente, nos ayudan a entender la gran competitividad y la frecuente brutalidad del espíritu comercial característico de los sistemas europeos desde el siglo XV en adelante. En la fase de expansión que siguió a la peste negra, los estados europeos se enzarzaron en una lucha a muerte por participar de la riqueza comercial disponible en las crecientes redes euroasiáticas. Incluso los estados más tradicionales, como los que expulsaron a los musulmanes de la península Ibérica o la Francia de Luis XVI, entendieron la importancia de los ingresos procedentes del comercio. La monarquía española se apoyó mayoritariamente, en su momento de máximo esplendor, en los créditos y en los ingresos de procedencia mercantil, mientras que los gobiernos franceses del siglo XVII dependieron de una amplia gama de impuestos sobre el consumo y el comercio^[73]. El aumento de la actividad comercial y del interés y protección de los gobiernos europeos impulsó mejoras en la construcción naval y la navegación, en el sector textil (el segundo sector más grande de casi todas las economías premodernas), en la construcción de esclusas y tal vez incluso en la imprenta. De manera indirecta fueron factores que influyeron en la conquista hispanoportuguesa de las redes comerciales atlánticas y en la posterior conquista de las civilizaciones agrarias americanas^[74]. La colossal riqueza que se extrajo de América —y el extraordinario poder comercial, político y militar que pudo construirse con estos ingresos, como demostraron los casos de España y Portugal— fomentaron la intensificación de esta pujanza comercial que fue el distintivo de los estados europeos de principios del período moderno. Este complejo del poder estatal que depende de los ingresos del comercio explica también por qué en el siglo XVI podían verse barcos europeos en todos los rincones del mundo.

Así pues, no fue una casualidad que Europa se encontrase en el eje del nuevo sistema global de intercambios. La aparición de un mundo muy competitivo de estados expansionistas y mercantilizados en las costas atlánticas presagiaba que sobre las aguas del Atlántico acabaría tendiéndose un puente. En realidad, ya los vikingos

del ciclo malthusiano anterior, adelantándose al feroz expansionismo de los estados europeos de siglos posteriores, habían tendido uno, aunque frágil y poco duradero.

Efectos de las redes globales de intercambios en Europa

La posición estratégica de Europa fue responsable, evidentemente, de que los cambios producidos en el nuevo sistema global la afectaran más a ella que al resto del mundo. En la historia del mundo moderno se suelen pasar por alto los intercambios de información. Sin embargo, como ya he sostenido en capítulos anteriores, las modificaciones de la cantidad y variedad de la información intercambiada entre las comunidades pueden ser, en las escalas grandes, un determinante crucial de los índices de innovación. Europa quedó inundada de información en la primera etapa del período moderno. En el eje del nuevo sistema global de intercambio, fue la primera que recibió la masa de nuevos conocimientos sobre América y sobre otras regiones de Afroeurasia. Pasó a ser un centro de intercambio de los nuevos conocimientos geográficos y culturales. En consecuencia, fue en la vida intelectual europea donde esta nueva información que fluía por la primera red global de intercambio dio los primeros y más impresionantes frutos.

La asimilación de esta masa de información de última hora transformó la vida intelectual europea. Margaret Jacob dice que la literatura de viajes de los siglos XVI y XVII tuvo un «efecto acumulativo», que «fue cuestionar la validez absoluta de las costumbres religiosas que durante mucho tiempo se habían considerado primordiales, sobre todo entre los eclesiásticos^[75]». Conforme se ampliaba el teatro del intercambio de información y la imprenta la difundía a mayor velocidad, los sistemas tradicionales de conocimiento tuvieron que someter sus presuntas verdades a pruebas de dificultad creciente y abandonar muchos de sus rasgos más obtusos. Como ha dicho Andrew Sherratt en un trabajo reciente que subraya el papel de la generalización de los intercambios en la historia humana: «La “evolución intelectual” [...] es sobre todo la aparición de modos de pensar apropiados para crecientes masas de población. [...] Esta comunicabilidad se ha manifestado en los últimos quinientos años en el desarrollo de la ciencia, que se ha esforzado en buscar criterios de aceptación libres de condicionamientos culturales^[76]». Lo que mejor explica el escepticismo radical que destila la orientación de la ciencia moderna en relación con las versiones tradicionales de la realidad, y que se hace patente por primera vez en la Europa del siglo XVI, es esta entrada de nuevos caudales de información y conocimientos. Los «filósofos naturales» europeos, desde el siglo XVII en adelante, sabían que trabajaban con una masa de información prodigiosamente aumentada, gran parte de la cual socavaba la credibilidad de los mapas tradicionales de la realidad. Steven Shapin ha dicho que «los sistemas filosóficos basados en el

conocimiento restringido seguramente eran defectuosos por esta misma razón, y la experiencia aportada, por ejemplo, por los primeros viajes al Nuevo Mundo, sirvió de punta de algunas corrientes tempranas del escepticismo moderno sobre los sistemas filosóficos tradicionales^[77]». El escepticismo sobre los fundamentos del conocimiento, la búsqueda de conclusiones de universalidad creciente (las leyes newtonianas de la gravedad son un ejemplo) y el uso de procedimientos de verificación más rigurosos (como los utilizados por Galileo) pueden considerarse consecuencias de la expansión del marco en el que se ponían a prueba los sistemas de conocimiento en el naciente sistema global de intercambios de información.

El impacto de las redes globales de intercambio en las estructuras sociales, políticas y económicas de Europa es más conocido, pero igual de significativo. Los comerciantes europeos y los gobernantes que los protegían fueron recompensados de manera espectacular y rápida. Mientras los soldados españoles conquistaban los núcleos agrícolas de Mesoamérica y Perú, los portugueses, los franceses, los holandeses y los británicos empezaron a colonizar otras regiones americanas, habitadas hasta entonces por comunidades sin estado de agricultores o cazadores-recolectores. El regalo de la plata americana financió el poderío español del siglo XVI. En realidad, España dependía tanto de la plata americana que cuando se cerró el grifo en el siglo XVII, decayó su influencia comercial y política. La plata americana sirvió asimismo para que los comerciantes europeos, por lo general apoyados por sus gobiernos, entraran por las buenas o por las malas en las ricas redes comerciales de Asia. Como ha señalado André Gunder Frank, la política de patada en la puerta con que entraron en las redes comerciales del sureste y el sur de Asia durante este período guarda afinidad con los métodos de los ejércitos mongoles que se habían apoderado tres siglos antes de las vías comerciales de las Rutas de la Seda^[78]. Los comerciantes europeos estaban adoptando el papel mediador desempeñado por los mongoles en el sistema mundial del siglo XIII, pero lo hacían en el escenario, mucho mayor, del primer sistema global de comercio.

Los beneficios procedentes de estas actividades animaron a las élites mercantiles y a los estados a estrechar las alianzas formadas provisionalmente en tiempos anteriores. La gran dependencia de los estados respecto de los ingresos procedentes del comercio dio a aquéllos una estructura particular y una política característica. En primer lugar, los comerciantes solían tener una posición muy elevada en estos estados; en algunos, como Venecia o los Países Bajos, eran el estado. En segundo lugar, los estados que dependían de los ingresos procedentes del comercio tenían que apoyar el comercio y en consecuencia protegían los derechos de los comerciantes con un entusiasmo poco común en los imperios agrarios, más grandes y tradicionales. Esta política solía empujar a los estados a emprender guerras comerciales. Por último, un medio así podía tener efectos menos perceptibles en las actitudes de las minorías gobernantes, instándolas a pensar no sólo en métodos de recaudar tributos, sino también en formas de generar riqueza de naturaleza empresarial. La política

mercantilista de los estados europeos del siglo XVII —reflejada por ejemplo en las Leyes de Navegación de la mancomunidad inglesa, que protegieron el comercio británico en las colonias británicas—, es un claro ejemplo de la nueva actitud de los gobiernos ante el comercio y las medidas que estos cambios fomentaban. También ilustra esta tendencia la proliferación por toda Europa de las leyes sobre patentes, que empezaron a emitirse en Venecia en el siglo XV. Los gobiernos fomentaron también la innovación fundando sociedades científicas u ofreciendo premios. (El premio más célebre pertenece, hablando con propiedad, al capítulo siguiente. En 1714, el gobierno británico convocó un certamen para la construcción de un reloj lo bastante resistente y seguro para llevarse en un barco, con objeto de que los marineros pudieran calcular la longitud. El premio no se adjudicó hasta 1726, a John Harrison) [79].

Con el paso del tiempo, la extensión del comercio transformó a las minorías exactoras tradicionales. Lo más probable es que estas transformaciones se produjeran cuando aumentaban bruscamente las necesidades económicas de las minorías en medios donde había a mano ingresos procedentes del comercio. Tenemos un ejemplo clásico en el comercio lanar de Inglaterra, porque incitó a los terratenientes a expulsar de sus tierras a los arrendatarios y a sustituirlos por ovejas, sobre todo en el siglo XVI, en que gracias a la disolución de los monasterios hubo más tierra disponible. La nobleza inglesa, tradicionalmente exactora, se dedicó al comercio de manera progresiva y produjo lana para los mercados de Flandes, invirtió en el comercio exterior o en piratería (como las expediciones de Francis Drake y John Hawkins), o se vinculó con la clase mercantil mediante el matrimonio. Detrás de los complejos rituales de la primacía de la nobleza que seguían vigentes a comienzos del período moderno podemos ver una lenta modificación de las personas y del carácter de la clase que formaban. Los nobles de toda Europa occidental estaban dejando de ser exactores y convirtiéndose en comerciantes y hombres de empresa, y todo de manera imperceptible. Muchos nobles, como el jurisperito francés Charles Loyseau, siguieron creyendo sin duda durante todo este período que, «vil o sórdido, es el beneficio lo que infama a la nobleza, cuyo papel es vivir de rentas^[80]». Pero en la práctica, esta imagen idealizada de la nobleza como clase exactora se volvía cada vez más anticuada. Si sus libros de contabilidad se hubieran sometido a inspección, se habría visto que muchos, poco a poco, se estaban convirtiendo en capitalistas, aunque seguramente se habrían horrorizado si se lo hubieran dicho. Al mismo tiempo, los comerciantes «mercantilizaban» a la nobleza contrayendo matrimonios mixtos, o comprando títulos (sobre todo en Francia), o asociándose con aristócratas deseosos de aprovecharse de su experiencia financiera y comercial. Allí donde los aristócratas se negaban a embarcarse en la libre empresa o a asociarse con comerciantes que podían ayudarles a hacerlo, al final sucumbían. En la literatura rusa del siglo XIX hay símbolos clásicos de esta claudicación, como Stepan Oblonski (hermano de Anna Karenina) y la señora Ranevski del *Jardín de los cerezos* de Chéjov.

Las alianzas entre comerciantes y gobiernos podían acabar en simbiosis. Muchos gobiernos habían cooperado ya con los comerciantes y algunos habían incluido a comerciantes en sus estructuras; pero esta cooperación empezaba a producirse ya incluso en estados de extensión modesta pero de alcance global. En algunos casos, los comerciantes pasaron a ser parte integral del gobierno. En un extremo estaban los Países Bajos, donde la clase comercial era el gobierno; en el otro estaban España o Rusia, donde los gobiernos eran tradicionales y recurrián a los comerciantes a regañadientes, para pedirles préstamos o encargarles la dirección de operaciones comerciales de envergadura. En medio estaban países como Gran Bretaña y Francia, donde los comerciantes y algunas actividades mercantiles se estaban incorporando poco a poco a las estructuras de gobierno^[81].

Entre los resultados más espectaculares de la naciente simbiosis de gobiernos y comerciantes destaca la elevada mercantilización de la guerra, que al final permitió a los estados mercantiles derrotar a los imperios exactores en la palestra bélica, así como en la comercial. La violenta competitividad del medio europeo determinó que la mercantilización de los estados europeos mercantilizara también la guerra. Este proceso, sostenido por abundantes caudales de plata americana, produjo una revolución en la tecnología militar que elevó tanto la destructividad como el coste de la guerra a cotas desconocidas hasta entonces. Charles Tilly afirma que los estados europeos se formaron inicialmente en respuesta a las necesidades de la guerra^[82]. Como en la antigua Sumer y en muchos otros sistemas regionales de estados competitivos de tamaño medio y pequeño, la guerra era endémica en Europa. Prepararse para la guerra y movilizar a los soldados, las armas y los suministros que se necesitaban estaban entre las principales misiones de los gobiernos. Las consecuencias militares de estos sistemas se reflejan bien en un diálogo entre el jesuita Guido Aldeni y un amigo chino que le preguntó: «Si tenéis tantos reyes, ¿cómo evitáis las guerras?». Aldeni respondió que los enlaces mixtos entre los grupos gobernantes o la autoridad de los papas bastaban para mantener la paz, pero fue una respuesta capciosa. La conversación tuvo lugar durante la guerra de los Treinta Años^[83]. China es un interesante contrapunto, porque el derrocamiento de la dinastía Ming por la manchú a mediados del siglo XVII dio lugar a un período de conflictos continuos. En estas guerras desempeñaron un papel esencial los cañones y los mosquetes, imitados de los modelos otomanos o de Asia meridional, o fabricados siguiendo las directrices chinas por los europeos presentes en China. Pero cuando la dinastía manchú (Ts'ing) hubo consolidado su superioridad, la innovación militar volvió a decaer y el desfase que había en tecnología militar entre China y Europa empezó a aumentar, dejando a China en situación de máxima vulnerabilidad en el siglo XIX^[84].

La pauta general es antigua, pero la forma en que los estados europeos se movilizaban para la guerra presenta unas características que son distintas de Europa. Tilly señala que la movilización, hasta el siglo XV, se llevaba a cabo de acuerdo con

métodos que podríamos llamar exactores: «Las tribus, las levas feudales, las milicias urbanas y fuerzas tradicionales parecidas desempeñaban el papel principal en la guerra, y los soberanos solían extraer el capital que necesitaban con tributos o rentas sobre la tierra y sobre los individuos que estaban bajo su autoridad^[85]».

Sin embargo, entre el siglo xv y comienzos del xviii se difundió la costumbre de comprar o contratar tropas, por lo general con préstamos que los estados pedían a los grandes capitalistas. De este modo, las victorias militares reflejaron de manera paulatina la prosperidad comercial. Ya en 1502, Robert de Balsac, un veterano francés de las guerras de Italia, terminaba un estudio sobre el arte de la guerra señalando que «lo más importante de todo es que el triunfo en la guerra depende de tener dinero suficiente para proveer a todas las necesidades de la empresa^[86]». La entrada de nuevas formas de riqueza que se produjo durante los cien años siguientes elevó bruscamente las apuestas en esta secular carrera armamentista de Europa.

El paso a métodos más comerciales de hacer la guerra reflejaba hasta cierto punto la naturaleza mercantilizada del sistema estatal europeo. Pero no fue menos importante el cambio fundamental que se produjo en las técnicas militares y que se conoce con el nombre de *revolución de la pólvora*^[87]. Sus raíces tecnológicas recorrián todo el sistema afroeuroasiático. Los experimentos chinos del período Song se basaron probablemente en lo que se sabía de las técnicas bizantinas sobre el uso del aceite con fines incendiarios (de donde salió el llamado fuego griego). Este conocimiento entró en el sureste asiático a través de intermediarios árabes y de allí pasó a China. Los primeros que utilizaron en la guerra las propiedades explosivas de la pólvora fueron los Kin, los rivales septentrionales de los Song, en 1221^[88]. Pero fue en Europa donde estas tecnologías se desarrollaron más a fondo. Los cañones de asedio empezaron a revolucionar la guerra en el siglo xv, porque exigieron la construcción de fortificaciones más complejas y caras. Los cañones móviles elevaron más aún los costes. El creciente uso de mosquetes portátiles en el siglo xvi transformó el papel de la infantería, que necesitó un nivel y una modalidad superiores de adiestramiento y disciplina. La dotación de cañones a los barcos transformó igualmente la guerra en el mar. El coste creciente de los ejércitos y las flotas favoreció a los estados que podían movilizar más rápidamente los mayores fondos y las mejores fuentes de financiación, es decir, los estados más mercantilizados como los Países Bajos. Pero incluso los estados tradicionales, como la Rusia moscovita, se dirigían a fuentes de ingresos nuevas, más comerciales, para costear las reformas militares. Fue Iván el Terrible quien empezó, en el siglo xvi, a explotar el monopolio estatal del vodka; en el siglo xix era ya la principal fuente de ingresos del estado ruso y cubría casi todos los gastos de la defensa^[89].

Los investigadores están de acuerdo, en términos generales, en que el comercio afectó a los estados europeos a principios del período moderno. El acuerdo es menor en lo que se refiere a su influencia en las zonas rurales europeas. La historiografía

tradicional ha considerado decisivamente capitalista el sector rural de Europa occidental y, por lo tanto, radicalmente distinto del sector rural, por ejemplo, de China o la India. Las investigaciones de última hora han obligado a modificar estas conclusiones, ya que hemos acabado por comprender hasta qué punto podían estar mercantilizadas las regiones rurales incluso en Asia oriental. Sin embargo, sigue en pie la posibilidad de que en algunas áreas de Europa occidental (sobre todo Gran Bretaña) la mercantilización del sector rural fuera más profunda que en gran parte de Asia oriental y que empezara a transformar las formas tradicionales de propiedad y control de la tierra, y a desarticular las estructuras tradicionales que preservaban el acceso de los campesinos a la tierra.

El comercio europeo, como el de cualquier otro sitio, nunca tuvo problemas para plantar una pica en las zonas rurales. Las exóticas baratijas urbanas o los artículos más necesarios como la sal encontraban en seguida el camino de los mercados rurales, aunque sólo fuese para participar en trueques y operaciones por el estilo. Pero era poco probable que estos artículos revolucionasen la vida rural. Más decisivas fueron las presiones que obligaron a los campesinos —a los europeos tanto como a los de Asia oriental— a complementar los ingresos agrícolas con empleos asalariados. Estas presiones podían ser fiscales. Conforme los terratenientes y los gobiernos pasaban a depender del comercio, tendían a exigir que los impuestos o las rentas tradicionales se pagaran en metálico y no en especie o en servicios, modificación que obligó a los contribuyentes a ganar dinero. La presión demográfica, al producir escasez de tierra, pudo haber surtido el mismo efecto. El crecimiento de la población del ciclo malthusiano posclásico hizo que, en el siglo XIII, alrededor de la mitad de las familias campesinas de muchos puntos de Europa careciera de tierra suficiente para el propio mantenimiento y obligara a buscar cualquier clase de trabajo asalariado. En un estudio sobre la Europa preindustrial, Catharina Lis y Hugo Soly señalan que

en Picardía, hacia 1300 [...] el 12 por 100 de la población estaba compuesto por indigentes y mendigos sin tierra que dormían en chozas fuera de la aldea y vivían trabajando por un salario; [...] el 33 por 100 cultivaba pequeños terrenos y también se veía obligado a vender su fuerza de trabajo para sobrevivir; [...] el 36 por 100 estaba compuesto por individuos pobres que no tenían ni una yunta de bueyes o de caballos, pero que por lo general conseguían prestaciones laborales; [...] el 16 por 100 tenía una explotación de tamaño suficiente para librarse de dificultades; y [...] el 3 por 100 mandaba sobre los demás^[90].

Allí donde la tierra no producía lo suficiente para alimentar a la unidad familiar y cumplir con las obligaciones con el estado, los terratenientes y otros (por ejemplo las parroquias), los campesinos tenían varias opciones. Podían tratar de vender productos rurales a mejor precio en los mercados locales, aunque aquí solían tropezar con la competencia de productores más fuertes. Podían pedir dinero a los prestamistas locales, lo cual, en la era de la expansión del crédito, era la forma más peligrosa de entrar en el mundo de los ricos. También podían dedicarse a actividades comerciales dentro de la unidad familiar, por ejemplo hilar o tejer. Estos procesos, que han

acabado conociéndose con el nombre de *protoindustrialización*, podían crear regiones en que los ingresos campesinos procedían fundamentalmente de las actividades industriales domésticas. El estudio de Maxine Berg sobre las industrias domésticas de Staffordshire a finales del siglo XVII nos da una idea de su extraordinaria variedad:

En Needlewood Forest se torneaba madera, se curtían pieles y se hacían trabajos de carpintería, en el sur de Staffordshire había carbón, además de hierro y artículos metálicos como cerrojos, asas, botones, guarniciones y clavos; y carbón y hierro en Cannock Chase. En Kinver Forest, en el suroeste, había fabricantes de guadañas y de herramientas afiladas, y cristaleros en Stourbridge, en la frontera Staffordshire-Worcestershire. En Bursham, al noroeste, había alfarería, y en el noreste había minas de donde se extraía mena. Y por todo el territorio se trabajaba el cuero y se tejía con cáñamo, lino y lana^[91].

La autora añade que en Essex, en 1629, había ya entre 40 000 y 50 000 personas que dependían tanto de la manufactura de ropa que «se habrían muerto de hambre si no hubieran estado trabajando continuamente y recibiendo un salario todas las semanas»; en un contexto así, una crisis comercial podía causar la ruina inmediata de miles de personas^[92]. Algunos miembros de las unidades familiares salían en busca de trabajo asalariado, en el campo o en alguna población cercana. Por último, en la base de esta larga y resbaladiza pendiente, estaban los que habían abandonado totalmente la tierra y se esforzaban por sobrevivir como obreros asalariados.

Las estrategias familiares que vemos hoy en las zonas rurales podían verse en todas las regiones de civilización agraria donde el campesinado sufría una fuerte presión comercial, fiscal o demográfica. Cada medida que se tomaba aumentaba el componente monetario del presupuesto familiar, atrayéndolo progresivamente hacia el mundo del comercio. Los campesinos entraron en el mundo capitalista a regañadientes. He aquí cómo describe estos procesos una historia social de la Francia del siglo XVII:

Casi todos los campesinos, enfrentados al crónico y tremendo desequilibrio entre el grano que podían llamar propio y el mínimo que necesitaban para sobrevivir, recurrieron a la improvisación. Alquilaban alguna hectárea de más para complementar las propias. Se ofrecían como braceros en las explotaciones mayores durante la activa estación estival. Cultivaban huertos a destajo y vendían legumbres y fruta en los mercados de los alrededores. La leche procedía de una sola vaca que estaba en los huesos. Había pocos cerdos en el Beauvaisis y solían competir con los humanos por la comida. Cuatro o cinco pollos en el corral y unas cuantas ovejas pastando con el rebaño de la aldea: esto era todo lo que podía permitirse la familia campesina normal. Añádanse los magros salarios que se sacaban en invierno hilando y tejiendo, y si el año era bueno, el déficit casi podía remontarse. Si los tiempos eran malos, podía ocurrir que los campesinos no pagaran los impuestos. También llegaba inevitablemente el momento en que tenían que pedir grano prestado. Estas deudas se traducían antes o después en la pérdida de una parte de la tierra que les quedaba. Faltos de tierra y endeudados, los campesinos corrían peligro de perder su preciada posición en la comunidad, de caer en la categoría de los pobres sin tierra^[93].

A medida que los campesinos y los terratenientes se adentraban en las redes de la actividad empresarial, cambiaban sus relaciones con la tierra. Para los grupos privilegiados cuyos ingresos procedían cada vez más del comercio, en medios en que se comercializaban crecientes cantidades de productos agrícolas, procurar tierra a los campesinos no era ya de vital importancia. Como los terratenientes tenían ahora

fuentes de ingresos que no dependían del trabajo de los campesinos, podían perfectamente, como en el caso extremo de la Inglaterra del siglo XVI, sustituir a los campesinos por ovejas y seguir adelante. A consecuencia de estos cambios, los estados, los terratenientes e incluso algunos campesinos ricos empezaron a ver la tierra como una fuente de beneficios comerciales y no como una fuente de productos. Los gobiernos de países como Inglaterra fomentaron la comercialización de la tierra aboliendo o comprando antiguos derechos a la misma y expulsando a los arrendatarios que no tenían más derechos que los de la costumbre. A lo largo de tres siglos (de 1500 a 1800), la supresión del tradicional derecho de los campesinos a la tierra poniendo cercas en los campos acabó con el campesinado tradicional. En otras partes los campesinos iban perdiendo la tierra ante presiones más lentas y a veces más lacerantes, como los impuestos, las deudas, las malas cosechas y la escasez de tierra. A veces, como en la Francia posrevolucionaria, los derechos a la tierra se protegían, pero las presiones del comercio obligaban a hacerse pequeño empresario si se quería sobrevivir. La comercialización, conforme se adentraba en el campo, transformaba la tierra en una mercancía y a los campesinos en jornaleros o en pequeños empresarios. Así empezó a invadir el capitalismo todos los rincones de la vida rural.

La comercialización de la tierra acentuó las diferencias en riqueza, ya que socavó la ley básica de las civilizaciones agrarias: que los productores rurales tenían que tener tierra. La expresión que utilizó Marx para describir el cambio era una imagen eléctrica. Lo que él llamó «acumulación primitiva» del capitalismo era, a diferencia de las formas acumulativas y más sencillas que se describieron en el capítulo anterior, una especie de «electrólisis» social, como la acumulación que se produce en la batería de un coche. La energía potencial se genera por la gravitación de un ion hacia el polo negativo de la batería y de otro ion hacia el polo positivo^[94]. Durante la fase de acumulación primitiva, la propiedad y la riqueza gravitaron hacia la clase propietaria, mientras que la falta de propiedades caracterizó a la naciente clase de los proletarios. Fue un proceso doloroso y salvaje, sobre todo en las primeras etapas; el capitalismo primitivo, como cualquier aprendiz de depredador (y como las formas más simples y antiguas de exacción), al principio se preocupó más por consumir que por la salud de su víctima^[95]. Sin embargo, como dijo Marx, la creciente energía potencial generada por esta electrólisis social es lo que explica el dinamismo del sistema capitalista. Expulsando a los campesinos de la tierra se les obligaba a dedicarse, decisiva y permanentemente, a actividades asalariadas. En tanto que asalariados acabaron compitiendo con otros asalariados, mientras que como campesinos tradicionales sólo habían aspirado a sobrevivir. En tanto que asalariados, el precio que tenían que pagar si resultaban ineficaces era el despido y tal vez la miseria; como campesinos, el precio se reducía a la pobreza, ya que aún tenían un pedazo de tierra para alimentarse. Así pues, la expulsión de los campesinos de la tierra, como decía Marx, fue un paso crucial en la creación de un mundo en el que la

competencia obligaba al grueso de la población a interesarse, como los comerciantes, por cuestiones de eficacia y productividad. Al igual que los comerciantes, tenían que comprar y vender (porque no podían producir ya su propia comida ni su ropa); y, al igual que los comerciantes, para sobrevivir tenían que trabajar con mayor ahínco en un mundo de creciente competitividad. Marx habló de «plusvalía absoluta» para explicar la progresiva dedicación al trabajo en la historia del capitalismo temprano. Jan de Vries ha sostenido recientemente que en Europa hubo por lo menos una «revolución industriosa» antes que la más conocida «revolución industrial» de los siglos XVIII y XIX^[96].

Lo que sigue sin estar claro es si estos procesos habían ido mucho más lejos en Europa que en otras regiones de Afroeurasia. Resulta tentador decir que, aunque casi todos los campesinos de 1700 estaban dedicados a actividades de mercado de una u otra clase, la región donde más se practicó la expropiación de tierras fue Europa occidental y en concreto Gran Bretaña. Sin embargo, las recientes investigaciones han puesto de manifiesto que no hay tantas diferencias para justificar el alegato de que Europa occidental, o Gran Bretaña, era ya «capitalista», mientras que China, por ejemplo, no lo era.

¿UN MUNDO MADURO PARA LA TRANSFORMACIÓN?

Llegamos a una conclusión frustrante. La repentina aparición de una red global de intercambios había transformado los sistemas socioeconómicos de muchas regiones del mundo. Aunque con resultados catastróficos para las poblaciones autóctonas de otras zonas mundiales, había multiplicado la riqueza concentrada en las regiones más proclives al comercio de Afroeurasia. Tanto Afroeurasia como América estaban integradas en sistemas globales de intercambio, así que en 1700 el mundo estaba mucho más mercantilizado que unos siglos antes. Las estructuras sociales de algunas regiones estaban más cerca que nunca del modelo ideal de economía capitalista. Los productores rurales estaban entregados a actividades empresariales o asalariadas y el comercio estaba rompiendo el tradicional aislamiento del mundo aldeano. Además, había muchas otras partes fuera de las áreas centrales de civilización agraria que estaban también inmersas en redes de actividad empresarial. Entre ellas estaban las regiones colonizadas de América y Siberia, así como zonas significativas de África y, ya a finales del siglo XVIII, gran parte del Pacífico y Australasia. Y por añadidura, como en períodos anteriores, la expansión de las redes de intercambio y el aumento de la población, de la actividad comercial y de la actividad del estado habían impulsado notorios avances en algunos sectores de la economía, como el comercio, la minería y la guerra, así como multitud de innovaciones menores pero muy significativas en la agricultura (por ejemplo, la introducción de nuevos cultivos). Por último, y quizá lo más importante de todo: el solo tamaño del sistema global moderno

multiplicaba las posibilidades de la sinergia comercial e intelectual al aumentar el volumen del tráfico y la medida en que los productos e ideas de una región podían fomentar la actividad económica en otras partes del sistema. En este gigantesco escenario planetario, el comercio no sólo estaba más extendido sino que además era más dinámico a efectos sociales, políticos y económicos. Resulta tentador creer que el mundo había llegado al umbral del capitalismo tal como lo definía Marx: como «una acumulación de valores de uso suficientemente elevada para cumplir las condiciones objetivas, no sólo de la producción de mercancías o valores necesarios para reproducir o mantener con vida la fuerza de trabajo, sino también para absorber la fuerza de trabajo excedente^[97]».

Espoleado por la repentina aparición de un sistema global de intercambio y por el brusco aumento del volumen, variedad y frecuencia de toda clase de intercambios, el sistema mundial moderno estaba ante el umbral de la modernidad, pero no lo había cruzado aún. Hay aspectos importantes en los que el mundo de 1700 seguía siendo decididamente premoderno y precapitalista. La modernidad es impensable sin unos niveles de productividad agrícola lo suficientemente elevados para apartar del trabajo agrícola a una mayoría de productores. Sin embargo, en ninguna región del mundo se había cruzado claramente este umbral a comienzos del siglo XVIII (aunque las cosas fueron muy distintas al finalizar el siglo). Inglaterra era tan excepcional como cualquier otra región, dado que allí, a finales del siglo XVII, entre el 70 y el 75 por 100 de la tierra cultivable estaba en manos de una clase terrateniente relativamente empresarial y el 40 por 100 de la población no trabajaba ya en el sector agrícola^[98]. Pero estas cifras dicen al mismo tiempo que más de la mitad de la población seguía dedicada a labores agrícolas y que alrededor de las tres cuartas partes de la población vivía aún en aldeas y villorrios^[99]. Incluso Inglaterra seguía siendo fundamentalmente agrícola, como todas las sociedades exactoras desde hacía 4000 años; alrededor del 50 por 100 de la población trabajaba en el sector agrícola todavía en 1759^[100]. «Lo que no puede negarse —observa Peter Mathias— es que la unidad principal de la economía era la tierra, la mayor fuente de riqueza en rentas, beneficios y salarios, y el patrón unipersonal más poderoso. Directa e indirectamente, gran parte de las materias primas de la industria dependía de la producción doméstica. El cervecer, el molinero, el curtidor, el candelero, el tejedor e incluso el herrero de la Inglaterra aldeana alimentaban y eran alimentados por la agricultura^[101]». En otros lugares se notaron mucho menos los cambios; en Francia, por ejemplo, los campesinos constituyan alrededor del 85 por 100 de la población, los habitantes de centros urbanos alrededor del 13 por 100 y la nobleza alrededor del 1 por 100^[102].

Los límites a que llegaron los cambios socioeconómicos antes del siglo XVIII explican el otro rasgo sorprendente de la primera fase de la era moderna: la continuada lentitud de las innovaciones, según los parámetros modernos. A un extraterrestre que hubiera visitado nuestro planeta en 1700 le habría costado mucho

identificar dos de los rasgos más destacados del mundo moderno: el papel dominante de Europa y la aceleración del ritmo de las innovaciones.

RESUMEN

Durante dos largos ciclos malthusianos, el primero hasta el siglo XIV, el segundo hasta el XVII, hubo un aumento sostenido y acelerado de los índices de acumulación en las principales regiones de civilización agraria. En estas regiones centrales aumentó también de manera apreciable la comercialización, sobre todo a raíz de la aparición, en el siglo XVI, de una red global de intercambios. En ciertas regiones, como la China Song o la Europa de principios del siglo XVI, la comercialización condujo a la aparición de políticas más comprometidas con las formas comerciales de riqueza que con las exactoras. En suma: en algunas regiones empezaron a aparecer lo que podríamos llamar *estados capitalistas* y los mercados mundiales se ampliaron y adquirieron más cohesión.

No obstante, no hubo cambios revolucionarios en este período. En lo que se refiere al siglo XVIII, no sería desacertado decir que las estructuras políticas dominantes del naciente sistema mundial eran todavía más exactoras que capitalistas. A pesar de los elevados niveles de comercialización que encontramos en muchas regiones, los gobiernos más poderosos seguían siendo tradicionales por su actitud y por su política económica y social. Puede que el signo más claro de esta continuidad del pasado fuera el hecho de que Asia siguiera siendo el centro del sistema mundial, algo que los historiadores no han entendido plenamente hasta los últimos años.

Incluso en Europa, donde había erosionado más que en ningún otro lugar las estructuras políticas tradicionales, tuvo un efecto limitado en la forma de producir mercancías en el sector rural. Las estructuras capitalistas dominaban los sistemas comerciales y determinaban la política de los principales estados, pero no dominaban la producción. Como ha señalado Charles Tilly: «La verdad es que los capitalistas, durante casi toda la historia, han trabajado más como comerciantes, empresarios y banqueros que como organizadores directos de la producción^[103]», una observación válida para 1700. El capitalismo estaba transformando el comercio, pero no había transformado aún los métodos de producción en serie. La unidad básica de producción seguía siendo la unidad familiar: la familia campesina que trabajaba la tierra o en industrias domésticas y la familia artesana de los centros urbanos. Aunque los salarios iban adquiriendo importancia para sus miembros, éstos no eran todavía trabajadores asalariados. Así pues, los métodos y actitudes comerciales no habían afectado aún de manera apreciable a la producción, que seguía siendo tradicional y de pequeña escala. Las estructuras sociales de Europa también seguían siendo

tradicionales en muchos aspectos, como puede verse con claridad en el predominio de la agricultura y la extensión del campesinado.

Así pues, en el siglo XVIII había un sistema global en el que seguían dominando las estructuras tributarias tradicionales. Sin embargo, todas las regiones del sistema estaban ya en extremo mercantilizadas, a consecuencia de un largo y acelerado proceso de acumulación de conocimientos y recursos, sobre todo recursos comerciales. Además, en algunas regiones, en particular en Europa, las estructuras capitalistas tenían poder suficiente para dominar las estructuras del estado y la política del gobierno, y algunas de estas estructuras estatales neocapitalistas tenían fuerza suficiente para enfrentarse militarmente a grandes estados exactores. Esta combinación —sistema mundial sumamente mercantilizado y regiones con estructuras políticas en transformación— fue el requisito que hizo falta para la rápida formación de todo un sistema mundial impulsado por las dinámicas necesidades del capitalismo.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

La literatura sobre la historia universal de los últimos 1000 años es abundante y variada, pero hay desacuerdo en múltiples tema decisivos. Mark Elvin nos da en *The Pattern of the Chinese Past* (1973) la que todavía es una de las mejores descripciones del crecimiento económico de la época Song. Robert S. Lopez describe a la tradicional usanza eurocéntrica la expansión de la Europa medieval y su significado en *La revolución comercial en la Europa medieval* (1971), un título que puede complementarse con Carlo Cipolla, *Before the Industrial Revolution* (1981²). Eric Jones suscitó otra serie de debates sobre los procesos globales que conducen a la modernidad con dos trabajos de envergadura, *El milagro europeo* (1987²), y *Crecimiento recurrente* (1988). Hubo muchas réplicas, las más recientes de las cuales han reducido el papel de Europa y realizado los elevados niveles de productividad y el alto nivel de vida que había en Asia oriental a principios del período moderno. Entre los últimos títulos que siguen esta línea hay que destacar los debidos a Janet Abu-Lughod (*Before European Hegemony*, 1989), André Gunder Frank (*ReOrient*, 1998), Kenneth Pomeranz (*The Great Divergence*, 2000) y R. Bin Wong (*China Transformed*, 1997). Alfred Crosby ha subrayado más que nadie la importancia de los intercambios ecológicos entre las zonas mundiales afroeurasiática y americana y en el interior de las mismas: véanse *El intercambio transoceánico* (1972) e *Imperialismo ecológico* (1986); William McNeill (*La búsqueda del poder*, 1982) y Geoffrey Parker (*La revolución militar*, 1996²) han estudiado la revolución militar producida a principios del período moderno, mientras que Charles Tilly (*Coerción, capital y los estados europeos: 990-1992*, 1992, edición revisada) nos ofrece uno de las mejores historias sintéticas de la formación de los estados europeos durante el último milenio.

Capítulo 13

NACIMIENTO DEL MUNDO MODERNO

La revolución moderna ha transformado el mundo en los últimos 250 años. En las tablas 13.1 y 13.2 y en la figura 13.1 tenemos la producción industrial comparada de casi todo este período. Y lo primero que salta a la vista es que la producción industrial global casi se ha multiplicado por 100. Las cifras, lógicamente, son muy provisionales; las estadísticas en bruto no son fiables, ya que definen el «potencial industrial» y no incluyen a todos los países. Sin embargo, las conclusiones generales que sacamos de estas tablas son muy claras y no variarían por mucho que se precisaran los detalles.

Los grandes cambios que vemos en estas tablas podrían parecer universales e instantáneos a la escala de la gran historia. Para entenderlos bien tenemos que utilizar una lente más pequeña y analizar la forma y la cronología de la transformación en diferentes regiones del mundo. A escalas temporales de un par de siglos, la transformación sigue un camino definido. Este camino nos interesa, porque afectó decisivamente a la forma y al impacto de la revolución moderna. Las regiones que se encontraban en el eje de la nueva red global de intercambios fueron las primeras en experimentar los elevados índices de innovación y los extraordinarios flujos de energía característicos de la modernidad. A finales del siglo XIX, su primacía industrial les proporcionó una ventaja económica, política y militar decisiva que les permitió poner su sello en la forma y la naturaleza de la modernidad en todo el mundo.

La transformación se vio primeramente en Europa occidental. En el curso de un siglo revolucionó los índices del desarrollo y las estructuras sociopolíticas de Europa. Estos cambios alteraron radicalmente el papel de Europa en el sistema global. En 1750, el Reino Unido, Alemania, Francia e Italia eran responsables, aproximadamente, del 11 por 100 de la producción industrial global; en 1880 tenían casi el 42 por 100. Lo que es hoy el conjunto del «mundo desarrollado» era responsable, en 1750, de alrededor del 27 por 100 de la producción global, en 1860 del 63 por 100 y en 1953 de casi el 94 por 100. En el primer siglo de industrialización, la primacía la tuvo claramente el Reino Unido. En 1750 era responsable de menos del 2 por 100 de la producción global; en 1880, de más del 20 por 100.

TABLA 13.1. POTENCIAL INDUSTRIAL TOTAL, 1750-1980 (RU EN 1900 = 100).

	1750	1800	1830	1860	1880	1900	1913	1928	1938	1953	1963	1973	1980
<i>Países desarrollados</i>	34	47	73	143	253	481	863	1.259	1.562	2.870	4.699	8.432	9.718
Reino Unido	2	6	18	45	73	100	127	135	181	258	330	462	441
Alemania	4	5	7	11	27	71	138	158	214	180	330	550	590
Francia	5	6	10	18	25	37	57	82	74	98	194	328	362
Italia	3	4	4	6	8	14	23	37	46	71	150	258	319
Rusia/U.R.S.S.	6	8	10	16	25	48	77	72	152	328	760	1.345	1.630
EE.UU.	1	5	5	16	47	128	298	533	528	1.373	1.804	3.089	3.475
Japón	5	5	5	6	8	13	25	45	88	88	264	819	1.001
<i>Tercer mundo</i>	93	99	112	83	67	60	70	98	122	200	439	927	1.323
China	42	49	55	44	40	34	33	46	52	71	178	369	553
India/Pakistán	31	29	33	19	9	9	13	26	40	52	91	194	254
<i>Mundo</i>	127	146	185	226	320	541	933	1.357	1.684	3.070	5.138	9.359	11.041

FUENTES: Daniel R. Headrick, «Technological Change», en B. L. Turner II et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, p. 58; basado en Paul Bairoch, «International Industrialization Levels from 1705 to 1980», *Journal of European Economic History* 11 (1982), pp. 292 y 299.

NOTA: Las cifras recogen la producción artesanal, además de la manufactura industrial. Las cantidades se han redondeado y se basan en medias anuales trienales, con la excepción de 1913, 1928 y 1938. Por este motivo, las cantidades del epígrafe *Mundo* no coinciden con los totales de los epígrafes *Países desarrollados* y *Tercer mundo*.

Las cifras que figuran bajo estos dos epígrafes se han calculado teniendo también en cuenta países que no aparecen en la lista.

TABLA 13.2. POTENCIAL INDUSTRIAL TOTAL, 1750-1980. PORCENTAJES RESPECTO DEL TOTAL GLOBAL.

	1750	1800	1830	1860	1880	1900	1913	1928	1938	1953	1963	1973	1980
<i>Países desarrollados</i>													
Reino Unido	26,8	32,0	39,7	63,3	79,1	88,9	92,5	92,8	92,8	93,5	91,5	90,1	88,0
Alemania	1,6	4,1	9,8	19,9	22,8	18,5	13,6	10,0	10,7	8,4	6,4	4,9	4,0
Francia	3,2	3,4	3,8	4,9	8,4	13,1	14,8	11,7	12,7	5,9	6,4	5,9	5,3
Italia	3,9	4,1	5,4	8,0	7,8	6,8	6,1	6,0	4,4	3,2	3,8	3,5	3,3
Rusia/Urss	2,4	2,7	2,2	2,7	2,5	2,6	2,5	2,7	2,7	2,3	2,9	2,8	2,9
EE.UU.	4,7	5,4	5,4	7,1	7,8	8,9	8,3	5,3	9,0	10,7	14,8	14,4	14,8
Japón	3,9	3,4	2,7	2,7	2,5	2,4	2,7	3,3	5,2	2,9	5,1	8,8	9,1
<i>Tercer mundo</i>													
China	73,2	67,3	60,9	36,7	20,9	11,1	7,5	7,2	7,2	6,5	8,5	9,9	12,0
India/Pakistán	33,1	33,3	29,9	19,5	12,5	6,3	3,5	3,4	3,1	2,3	3,5	3,9	5,0
<i>Mundo</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

FUENTE: Tabla 13.1.

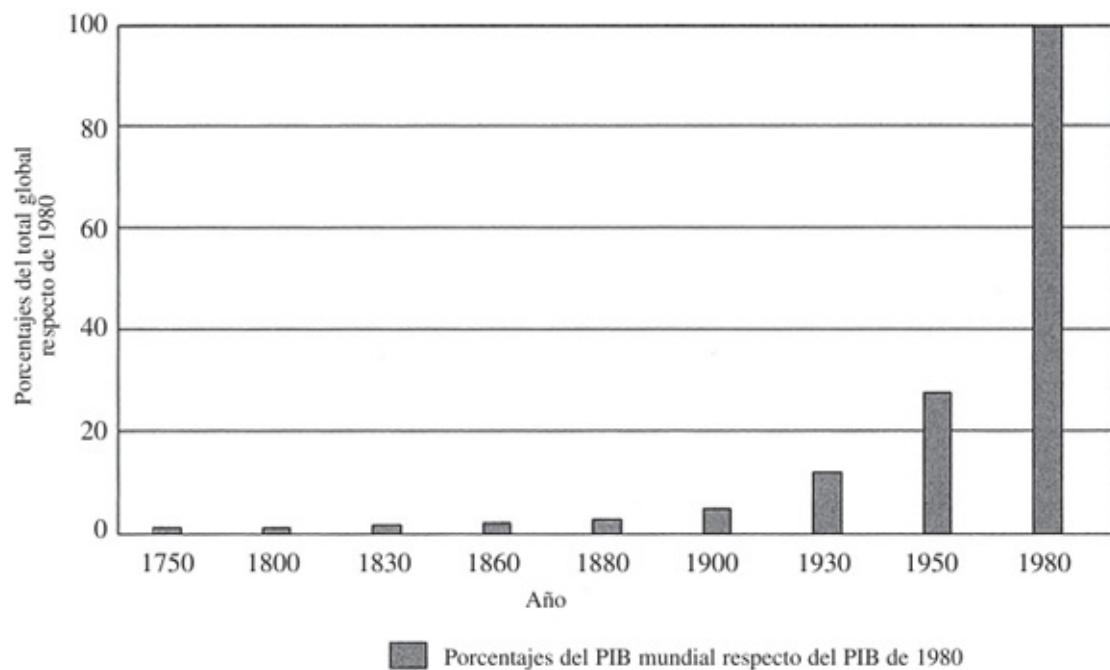


FIGURA 13.1. Potencial industrial global, 1750-1980. Basada en la tabla 13.2.

El cambiante equilibrio del poder industrial revolucionó el equilibrio del poder militar y político. En 1800, las potencias europeas controlaban alrededor del 35 por 100 de la tierra del planeta; en 1914 controlaban alrededor del 84 por 100^[1]. También se modificó el equilibrio del poder demográfico, aunque de manera menos radical. Las cifras de la tabla 11.1 indican que la población europea estuvo de 1000 a 1800 entre el 12 y el 14 por 100 de la mundial (con una subida temporal al 16 por 100 en el siglo XIV). En 1900 subió al 18 por 100 y a finales del siglo XX cayó al 9 por 100 aproximadamente. Estas cifras no reflejan la importancia demográfica de Europa, porque no tienen en cuenta a los millones que se marcharon de Europa y se instalaron en las Neoeuropas de América y Australasia.

La industrialización pareció un fenómeno europeo durante gran parte del siglo XIX. En el XX, sin embargo, se manifestó a escala global, ya que fuera de la zona axial de las economías europeas empezó a aumentar la producción. Conforme crecían la población, la economía y la capacidad militar de las sociedades europeas y noratlánticas, los gobiernos de otras regiones trataron de imitar los progresos económicos, políticos y militares de Europa. El resultado de sus esfuerzos y de la creciente cohesión económica y cultural del mundo fue la universalización del modelo europeo de modernidad. La velocidad y la escala de los cambios impidieron la posibilidad de que se produjeran revoluciones industriales regionales independientes, semejantes a las transformaciones regionales independientes del Neolítico. Por el contrario, el modelo europeo de modernidad sirvió de guía a la industrialización global, del mismo modo que la tecnología de las primeras regiones agrícolas creó un modelo que se copió en las redes regionales de intercambio de comienzos de la era agraria. No es una casualidad que los empresarios de todo el

mundo vistan en la actualidad a la europea y no a la oriental, ni que el inglés sea hoy el idioma internacional del comercio y la diplomacia.

¿Por qué la transformación se vio primero en Europa? ¿Por qué no se desintegró la transformación europea tal como le había ocurrido a la revolución económica de la era Song? ¿Por qué carriles avanzó la modernidad durante el primer siglo, cuando estuvo básicamente limitada a Europa y Norteamérica? ¿Y cuáles fueron los principales rasgos de estas primeras transformaciones? Éstos son los temas fundamentales que abordaremos en este capítulo.

A causa de la trascendencia de las primeras transiciones a la modernidad, el resto del capítulo se dedicará a las regiones axiales de Europa occidental y del Atlántico norte. En aras de la claridad, se diferenciarán tres aspectos de la revolución moderna: el cambio económico, el político y el cultural. En realidad fueron facetas de una sola transformación, compleja e interrelacionada, que se produjo a una velocidad vertiginosa.

LA REVOLUCIÓN ECONÓMICA EN GRAN BRETAÑA

Conforme los historiadores han ido profundizando en los detalles del cambio económico (Patrick O'Brien lo llama «puntillismo histórico»), muchos han acabado poniendo en duda la idea de «revolución industrial», del mismo modo que algunos arqueólogos han puesto en duda la idea de «revolución neolítica». Cuando se mira de cerca, destacan los detalles, no las pautas generales. Pero desde la perspectiva de la historia mundial, cuesta no advertir la esencia revolucionaria de los cambios económicos. En un estudio general reciente O'Brien escribe:

Según todos los indicadores construidos y reconstruidos desde entonces para medir los ritmos del cambio económico, parece innegable, cuando comparamos la primera mitad del siglo XIX con la primera mitad del XVIII, la existencia de un período intermedio de discontinuidad acentuada. Jamás había habido un nivel de aceleración tan sostenido en Gran Bretaña (ni en ningún otro lugar de Europa o América). En suma, el ritmo de expansión a largo plazo de Gran Bretaña entre 1750 y 1850 fue históricamente único e internacionalmente extraordinario^[2].

Al hablar de las primeras etapas de la revolución industrial, me centraré en Gran Bretaña. Esto no significa que Gran Bretaña fuera un caso típico; lejos de ello, su primacía daba a entender que era atípico^[3]. Como han sostenido O'Brien y Caglar Keyder, el modelo francés de modernidad, aunque distinto del británico, no fue «inferior» en absoluto. El campesinado francés duró más tiempo e incluso consolidó su posición tras la Revolución de 1789; en consecuencia, la agricultura francesa siguió siendo más tradicional que la británica hasta bien entrado el siglo XIX y sus estructuras sociales fueron probablemente menos desiguales. Sin embargo, son poco importantes las diferencias que hay entre los dos países en lo que se refiere a las tasas de crecimiento de la producción a largo plazo de 1780 a 1914^[4]. Y en realidad no hay

diferencias en el ritmo de las innovaciones. Muchos progresos tecnológicos decisivos fueron «occidentales» y no «británicos». Entre ellos hay que mencionar los primeros experimentos con máquinas de vapor; la invención del telar Jacquard (Francia, 1801), que utilizó por primera vez la codificación digital como forma de control mecánico; la invención de la desmotadora de algodón (Estados Unidos, 1793); la invención de ciertos procedimientos decolorantes (Francia, 1784); la fabricación de porcelana (Meissen, 1708); el hallazgo de nuevas técnicas para la fabricación del vidrio y el papel; y los primeros pasos de la aviación cuando los hermanos Montgolfier, dos empresarios del ramo del papel, llevaron a cabo el primer vuelo dirigido de la historia, en Antonnay, en el suroeste de Francia (1783). Sin embargo, la región cuya transformación económica se ha estudiado con mayor profundidad es Gran Bretaña (véase la tabla 13.3). Es asimismo la región donde el carácter revolucionario de estas transformación se hizo patente por primera vez a los contemporáneos. El revolucionario francés Blanqui habló de *revolución industrial* ya en 1837 para señalar que las transformaciones económicas que se estaban produciendo en Gran Bretaña eran tan revolucionarias como los cambios sociopolíticos de la Revolución francesa^[5]. Así pues, Gran Bretaña sigue siendo un excelente observatorio para estudiar el momento del despegue y ver qué representó a escala regional.

TABLA 13.3. ESTIMACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GRAN BRETAÑA, 1700-1831.

Años	Tasas de crecimiento del producto nacional		Tasas de crecimiento del producto nacional per cápita	
	Producto nacional (% por año)	Tiempo de duplicación implícito (años)	Producto nacional per cápita (% por año)	Tiempo de duplicación implícito (años)
1700-1760	0,69	100	0,31	223
1760-1780	0,70	99	0,01	6.931
1780-1801	1,32	53	0,35	198
1801-1831	1,97	36	0,52	134

FUENTE: Basado en N. F. R. Crafts, *British Economic Growth During the Industrial Revolution*, Clarendon, Oxford, 1985, p. 45.

NOTA: El producto nacional es el cálculo aproximado de la producción conjunta de la agricultura, la industria y los servicios.

Por desgracia, la expresión de Blanqui exagera la trascendencia del cambio industrial. Por lo que se refiere a Gran Bretaña, los cambios introducidos en los métodos de producción industrial fueron sólo una parte de una revolución económica que tuvo tres planos. Primero: las estructuras sociopolíticas en las que se desarrollaba la actividad económica se transformaron con la aparición de un sistema de clases

sociales e intercambios económicos de cuño capitalista. Segundo: el sector agrario se transformó cuando la subsistencia dejó de ser el objetivo primario de la producción agrícola y fue sustituida por la obtención de beneficios, y gracias a la difusión de las innovaciones aumentó la productividad agrícola. Aunque los cambios técnicos no fueron tan espectaculares en la agricultura como en la industria, su impacto real fue mayor, por lo menos hasta comienzos del siglo XIX. Los cálculos de N. F. R. Crafts indican que la productividad agrícola de la mayor parte del siglo XVIII aumentó por lo menos con la rapidez de la productividad industrial y en ocasiones con más rapidez^[6]. Tercero: los nuevos métodos de producción, basados en la mecanización y el uso de nuevas fuentes de energía (como el carbón y el vapor), revolucionaron la escala y la productividad de muchos sectores de la industria británica, en concreto la producción de algodón, carbón y hierro. Casi todo este extraordinario aumento de la productividad fue posible gracias a las tecnologías que explotaron las colosales reservas de energía solar de los combustibles fósiles.

El contexto social

Al igual que muchas otras regiones de Afroeurasia, la Gran Bretaña del siglo XVIII estaba en extremo mercantilizada, sobre todo en dos planos: las estructuras gubernamentales y las de la sociedad rural. Los gobiernos y los grupos de poder afines nos ayudan a comprender por qué los empresarios británicos, al menos en las primeras etapas de la revolución industrial, sacaron tanto provecho de las nuevas tecnologías, sin descontar las ya ensayadas en el extranjero^[7].

La posición estratégica de Gran Bretaña en las redes globales de intercambio del siglo XVIII dependía hasta cierto punto, como es lógico, de la geografía, que ponía a la isla en el epicentro del nuevo sistema global. Su situación física obligaba a los gobiernos británicos a interesarse especialmente por el comercio. Pero, como hemos visto, los gobiernos británicos estaban ya predisuestos a esta transformación. El alto nivel de comercialización de Gran Bretaña se debió en buena medida a las continuas y elevadas inversiones económicas y militares de los gobiernos, que contaban con el apoyo de importantes sectores de la nobleza y de la burguesía mercantil, en la protección de los intereses comerciales británicos en el extranjero^[8]. El gobierno tenía buenas razones para apoyar el comercio, tanto interior como exterior, porque la mayor parte de sus ingresos procedía, en el siglo XVIII, de los derechos de aduanas y diferentes clases de derechos interiores. Al fundar el Banco de Inglaterra y apoyar la expansión ultramarina, estaba protegiendo sus propios intereses al mismo tiempo que los de una minoría mercantil nutrida y acaudalada. El contraste con la China Ming —cuyos gobiernos despreciaban el comercio, dependían básicamente de ingresos no comerciales como los impuestos sobre la tierra y se negaban a apoyar el comercio

exterior— es impresionante. Pero también lo es el contraste geográfico entre las dos sociedades: una situada ahora en el centro de las redes globales de intercambio, la otra en el borde de una red de intercambio grande y antigua, pero subglobal.

El comercio había transformado asimismo a la sociedad rural británica. Ya en la Inglaterra de los Tudor y los Estuardo, los trabajadores rurales sin tierra comprendían aproximadamente entre el 25 y el 30 por 100 de la población^[9]. En la década de 1640, un autor inglés decía que «la cuarta parte de los habitantes de las parroquias de Inglaterra es gente pobre que no tiene con qué comer, salvo cuando es tiempo de cosecha». Las investigaciones recientes, basadas en las estimaciones del estadístico inglés Gregory King, vienen a deciros que en 1688 alrededor del 43 por 100 de la población estaba compuesto por «cottagers y pobres» o por «trabajadores y criados no domésticos», que no ganaban suficiente para vivir por su cuenta^[10]. La mayoría no poseía ni un palmo de tierra, y quienes tenían alguna parcela no sacaban de ella lo suficiente para vivir y pasaban a ser proletarios (según la terminología de Marx). Muchos se iban a los centros urbanos, que estaban creciendo con rapidez. En 1700, Londres cobijaba al 10 por 100 de la población nacional. Las condiciones de vida de la capital eran en muchos aspectos peores que las de las aldeas (las tasas de mortalidad eran muy elevadas: el 42 por 1000, según Gregory King), pero en Londres por lo menos había oportunidades para encontrar trabajo^[11].

¿Qué sectores de la economía británica de principios del XVIII eran más importantes? Los cálculos modernos indican que la renta nacional estaba repartida del siguiente modo: el 37 por 100 de los ingresos procedía de la agricultura, el 20 por 100 de la industria, el 16 por 100 del comercio, otro 20 por 100 de rentas y servicios, mientras que los ingresos procedentes de la misma administración constituían el 7 por 100 restante. En otras palabras, la industria, el comercio, las rentas y los servicios aportaban más de la mitad de los ingresos nacionales británicos^[12]. Con la mitad de la población dependiendo de un salario y no de la agricultura de subsistencia, y con una economía nacional en la que las actividades comerciales generaban más del 50 por 100 de la renta nacional, la sociedad británica estaba ya más cerca de la sociedad capitalista ideal que de las sociedades exactoras tradicionales. Los modelos de desarrollo basados en la estructura social predicen que en un medio así debería proliferar la innovación; y eso es precisamente lo que observamos.

La agricultura

Lo que más trascendencia tuvo fue la difusión de las actitudes y métodos comerciales en el sector agrícola, el más importante de la mayoría de las sociedades premodernas. Los métodos capitalistas empezaron a transformar la agricultura británica en los siglos XVII y XVIII. Fue un hecho de enorme importancia, porque la agricultura seguía siendo el motor de la economía británica, tal como lo había sido en

todas las civilizaciones agrarias tradicionales. En el siglo XVIII era todavía el sector productivo de mayor envergadura y de él dependían casi todos los comestibles, vestidos y materias primas rurales. La cambiante estructura social de la propiedad de la tierra durante los siglos XVII y XVIII fomentó una transformación tecnológica que, aunque lenta desde el punto de vista moderno, supuso una revolución en la escala de la historia universal.

La misión primaria de la agricultura, en casi todas las civilizaciones agrarias, era alimentar a los que trabajaban la tierra. En Gran Bretaña, sin embargo, y en el curso de dos siglos, la tierra fue concentrándose en las manos de grandes propietarios para los que la tierra no era un medio de subsistencia, sino un medio de extraer beneficios. Mientras tanto crecía el número de pequeños campesinos expulsados de la tierra o a los que se negaba el derecho tradicional a usar los pastos, los prados y los bosques. Los gobiernos venían fomentando periódicamente estas medidas desde el siglo XVII, autorizando los cercamientos —que permitían a los terratenientes desoir los derechos tradicionales a la tierra—, con el fin de formar latifundios, consolidados y vallados. Antes de mediados del siglo XVIII la mitad de la tierra inglesa estaba vallada; a finales de siglo se completó el proceso, gracias sobre todo a leyes dictadas por el Parlamento. El resultado fue que el campesinado británico desapareció y Gran Bretaña pasó a ser la primera sociedad a gran escala que prosperó sin campesinos.

Estos cambios fueron catastróficos para casi todos los habitantes del campo. Incapaces ya de vivir de lo que producían ellas mismas, las familias rurales quedaron a merced del inseguro y caprichoso mercado laboral. W. G. Hoskins describe así el cambio que se produjo en la aldea de Wigston Magna, en Leicestershire, cuando las «mejoras» agrícolas introdujeron dinero, pero no riqueza:

La economía doméstica de toda la aldea se alteró de modo radical. El campesino ya no podía obtener lo necesario para vivir sirviéndose de las herramientas, el suelo, los recursos de su región y la fuerza de sus brazos. El campesino autosuficiente se transformó en un gastador de dinero, porque todo lo que necesitaba estaba ahora en las tiendas. El dinero, que en el siglo XVI había desempeñado un papel menor, aunque ineludible, ahora era lo único imprescindible para seguir vivo. El ahorro campesino fue sustituido por el ahorro comercial. Cada hora de trabajo tenía ahora un valor monetario, el paro resultaba catastrófico, porque ya no había ningún pedazo de tierra al que el asalariado pudiera volver. Sus amos isabelinos habían tenido necesidad de dinero de manera ocasional, pero él lo necesita casi todos los días y desde luego todas las semanas del año^[13].

La ley de cercamientos de 1765 fue la muerte para Wigston Magna. Los pequeños propietarios desaparecieron como colectivo en unos sesenta años y se convirtieron en braceros, tejedores o mendigos^[14].

Conforme desaparecían las tierras de los campesinos, crecían las de los terratenientes y con ellas el tamaño medio de las explotaciones. En el sur de las Midlands (los condados centrales de Inglaterra), la proporción de explotaciones mayores de 50 hectáreas pasó aproximadamente del 12 por 100 a principios del siglo XVII a alrededor del 57 por 100 dos siglos después^[15]. Estas cifras señalan la

rapidez con que podía subir la curva de la desigualdad durante la revolución moderna. En casi todas las civilizaciones agrarias, la mayoría de la población tenía derecho a la tierra cultivable; en realidad, este derecho estaba garantizado por los bajos niveles de la productividad agrícola, dado que las sociedades tenían que emplear casi toda la fuerza de trabajo disponible en la producción de alimentos. Pero la tierra estaba ahora concentrada en pocas manos. El cambio en el régimen de propiedad revolucionó la economía de la producción agrícola. Como es probable que quienes cultivan a gran escala no se coman lo que producen, sin duda trabajan la tierra buscando un beneficio. Por lo tanto, el creciente tamaño de las explotaciones es un buen indicador indirecto de la comercialización de la agricultura británica.

La comercialización a esta escala cambió las relaciones con la tierra en lo que se refiere a las actitudes y los métodos. Para sacar beneficios de los cercamientos, los terratenientes tenían que producir para el mercado o alquilar la tierra a «agricultores mercantiles», esto es, agricultores que produjeran para el mercado y pagaran un porcentaje de sus beneficios. Los dos métodos hacían de la agricultura un negocio y no un medio de supervivencia. Pero el segundo método tenía la ventaja de permitir que los aristocráticos terratenientes se mantuvieran al margen del burdo oficio de ganar dinero, aunque disfrutaban de sus ganancias. Eric Hobsbawm llega a la siguiente conclusión: «Carecemos de cifras fiables, pero en 1750 ya era perceptible la estructura característica de la propiedad inglesa: unos miles de terratenientes que arrendaban la tierra a decenas de miles de agricultores que a su vez la trabajaban con la ayuda de cientos de miles de braceros, criados y pequeños minifundistas que trabajaban a jornal casi todo el tiempo^[16]».

Los cambios producidos en el control de la tierra revolucionaron las técnicas agrícolas. Los agricultores mercantiles tenían que producir para mercados competitivos, así que tenían que producir mucho y bien. Pero también tenían más acceso que los simples campesinos a un capital que podían invertir en métodos de producción más eficaces. Y después de la ley de cercamientos tuvieron acceso por lo general a grandes lotes de tierra que les permitieron explotar economías de escala con métodos agrícolas modernos que no estaban al alcance de los pequeños productores. En realidad, fueron pocas las tecnologías nuevas que se introdujeron a finales del siglo XVII y en el XVIII; lo más importante en esta etapa fue perfeccionar de manera eficaz las técnicas ya existentes. La tecnología de la agricultura moderna no se transformó hasta el siglo XIX, con la introducción de la maquinaria y los fertilizantes artificiales. Casi todos los métodos introducidos hasta entonces por los agricultores con iniciativa se conocían desde la Edad Media y muchos se utilizaban ya en distintos puntos de Europa. Lo nuevo en Gran Bretaña fue el número de los que adoptaron estas técnicas, de los que tenían dinero para invertir en ellas y de los que las utilizaban con eficacia.

Los agricultores británicos imitaron los métodos utilizados ya en los Países Bajos desde la Edad Media y que a menudo reciben el nombre de «nueva agricultura». Se

trataba de una nueva forma de explotación agropecuaria que aumentaba la producción y reducía los barbechos. Muchos granjeros empezaron a plantar cultivos de barbecho como los tréboles y los nabos. Los nabos se utilizaban para alimentar a los animales y aumentaban la cantidad de cabezas, y con más cabezas había más estiércol. Las legumbres, que son buenas fijadoras del nitrógeno, contribuían a regenerar el suelo. En consecuencia, las nuevas rotaciones de cultivos aumentaron la cantidad de cultivos y de cabezas que podía sostener un área concreta de tierra. Pero hubo también otros cambios —mejoras en el riego, la recuperación de suelos y la cría intensiva de animales— impulsados por la necesidad de una agricultura orientada al mercado que diera productos en gran cantidad y a bajo coste.

Según se fueron generalizando los cambios, creció la productividad de la agricultura británica y descendió el porcentaje de trabajadores agrícolas. Aunque cayó la proporción del empleo agrícola, la contribución de la agricultura a la renta nacional siguió estando alrededor del 37 por 100 entre 1700 y 1800^[17]. La producción total de la agricultura británica se multiplicó aproximadamente por 3,5 entre 1700 y 1850, mientras que la mano de obra masculina empleada en la agricultura bajó del 61 por 100 (en 1700) a cerca del 29 por 100 (en 1840). Se ha calculado que los trabajadores agrícolas de sexo masculino de la Gran Bretaña de 1840 producían alrededor de 17,5 millones de calorías por cabeza, cifra que contrasta con los 11,5 millones de los trabajadores franceses y con cifras inferiores de otros países de Europa^[18]. La tabla 13.4 muestra el crecimiento en la producción de ciertos productos.

TABLA 13.4. PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN GRAN BRETAÑA.

	1700	1750	1800	1850
<i>Productos</i>				
Grano (<i>bushels</i>)	65	88	131	181
Carne (libras)	370	665	888	1.356
Lana (libras)	40	60	90	120
Queso (libras)	61	84	112	157
<i>Volumen según precios de 1815 (en £)</i>				
Cereal y patatas	19	25	37	56
Productos animales	21	34	51	79
<i>Volumen total</i>	40	59	88	135

FUENTES: Maxine Berg, *The Age of Manufactures, 1700-1820: Industry, Innovation, and Work in Britain*, Routledge, Londres, 1994 (2.ª ed.), p. 81, que cita a R. C. Allen, «Agriculture and the Industrial Revolution, 1700-1850», en Roderick Floud y Donald McCloskey, eds., *The Economic History of Britain since 1700*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994, 1, p. 109.

NOTA: En el «grano» se incluyen el trigo, el centeno, la cebada, la avena, las alubias y los guisantes, sin la vaina, y la avena consumida por los animales. Los «productos animales» comprenden la carne, la lana, los lácteos, el

queso, las pieles y el heno vendido fuera de la finca. El *bushel* imperial británico equivale a 36,367 litros; la libra británica actual tiene 0,454 kg.

La creciente productividad de la agricultura británica en el siglo XVIII tuvo una gran trascendencia. En primer lugar, permitió que la población aumentara rápidamente. Las estimaciones de Crafts dan a entender que la productividad creció aquél siglo lo suficiente para sostener las elevadas tasas de crecimiento demográfico que llamaron la atención de Malthus; pero en el siglo XIX la productividad se aceleró más aún, impidiendo así una grave crisis malthusiana como la que se declaró en otras regiones del mundo, de Irlanda a China, pasando por Pakistán y la India^[19]. En Gran Bretaña, el crecimiento demográfico amplió los mercados de los productos agrícolas, estimuló las inversiones y puso en circulación más mano de obra para los sectores no agrícolas de la economía.

¿Por qué atraía tanto la tierra al capital mercantil? Una respuesta es que el crecimiento demográfico y el declive de la agricultura de subsistencia ampliaron el mercado interior de productos rurales. Los que carecían de tierra tenían que comprar la comida, por muy pobres que fuesen. Así que los agricultores podían confiar normalmente en la expansión de los mercados para sus productos. Estos procesos crearon un mercado completamente nuevo: un gran mercado de bienes de consumo baratos. Estos mercados apenas habrían podido levantar cabeza en una sociedad de agricultores de subsistencia, hecho que desde siempre había limitado el alcance y las posibilidades de la agricultura comercial en el mundo preindustrial. Ciudades como Pekín, Bagdad o la Roma imperial necesitaban cantidades ingentes de alimentos; lo mismo cabe decir de muchas casas privilegiadas, que pedían manjares de lujo además de productos básicos. Pero fuera de estas grandes ciudades, la mayoría de la población se alimentaba de lo que cultivaba. La aparición de sociedades en que la mayoría de la población dependía totalmente de los mercados para sobrevivir fue un fenómeno nuevo que dio un gran impulso a la producción mercantil de productos de consumo masivo.

El cambio fue particularmente rápido porque en la Gran Bretaña del siglo XVIII, al igual que en otros países europeos, los mercados exteriores de productos rurales crecieron también muy aprisa. Eran sobre todo mercados coloniales, protegidos (a veces con costes elevados) por gobiernos de orientación mercantil creciente. La expansión colonial y las leyes de navegación de 1651 y 1660 crearon un mercado grande y protegido para los productores británicos. Las Antillas tuvieron gran importancia, ya que su economía de monocultivo (centrada en el azúcar desde mediados del siglo XVII) obligaba a importar todos los productos alimenticios. Por estos y otros medios, la situación de Gran Bretaña en el epicentro de las redes globales de intercambio impulsó decisivamente la actividad comercial.

La industria

Habida cuenta de la creciente cantidad de individuos sin tierra y aspirantes a jornaleros, de las minorías gobernantes que cada vez dependían más de los ingresos del comercio, de la existencia de un sector agrícola sumamente comercializado y del paso franco que se tenía para acceder a los crecientes mercados internacionales, lo sorprendente es lo mucho que tardó la transformación de la industria. Una causa de esta tardanza fue que las inversiones necesarias para fundar una fábrica o comprar una máquina de vapor eran superiores a las necesarias para «mejorar» la agricultura o renovar las industrias domésticas. En consecuencia, casi toda la producción industrial británica seguía siendo tradicional entre finales del siglo XVII y principios del XIX. Casi todos los artículos seguían produciéndose en talleres artesanales que funcionaban a una escala que se diferenciaba poco de la de Sumer, 4000 años antes, o que aprovechaban el trabajo de las familias campesinas que hilaban o tejían en casa. En realidad, la revolución industrial dio un nuevo impulso a la producción a pequeña escala durante un tiempo. Otra causa de la tardanza pudo ser que en un mundo todavía dominado por el sector rural, la demanda de productos industriales seguía estando por debajo de la demanda de productos agrícolas.

Con el tiempo, sin embargo, la búsqueda del beneficio empezó a transformar la industria como había transformado la agricultura. Es difícil determinar cuándo se convirtió en inundación el goteo de innovaciones característico del mundo premoderno. En los siglos XVII y XVIII hubo innovaciones en la producción industrial de toda Europa. Pero costaría demostrar que el ritmo de innovación fue más rápido en Gran Bretaña que en otros lugares antes de mediados del siglo XVIII aproximadamente. En 1709, ante el aumento del coste de la madera (que se multiplicó por diez entre 1500 y 1760, mientras que los precios en general se multiplicaron sólo por cinco), Abraham Darby se puso a experimentar con el coque en los altos hornos de Coalbrookdale, en Shropshire, donde se fabricaba hierro^[20]. Los chinos habían empleado estas técnicas en el siglo XI, pero no hay pruebas de que las técnicas de Darby procedieran directa o indirectamente de las prácticas chinas^[21]. En realidad, sus métodos no fueron del todo eficaces y apenas se difundieron hasta que se perfeccionaron en la década de 1760. Pero redujeron los costes y aumentaron la producción, al igual que el proceso de pudelación, inventado por Henry Cort en 1784. En general, la producción británica de hierro se multiplicó por diez en el siglo XVIII^[22].

Otra técnica cuya trascendencia se vio tiempo después fue el uso del vapor para extraer el agua de las minas. La idea de que la presión atmosférica era una fuente potencial de fuerza mecánica se remontaba por lo menos al siglo XVI, y es posible que en China se conociera tanto como en Europa^[23]. El inventor francés Denis Papin, que conocía bien la teoría científica que había detrás de la idea de la presión atmosférica,

realizó en 1691 la primera exhibición pública del uso potencial del vapor como fuente de fuerza mecánica. Thomas Savery construyó una bomba de vapor en 1698; la máquina utilizaba el vacío creado por la condensación del vapor para succionar el agua. Thomas Newcomen construyó una versión perfeccionada en 1712. Tuvo un uso limitado a causa de su ineficacia, ya que dependía del calentamiento y enfriamiento continuos de un solo cilindro. Además, consumía grandes cantidades de carbón, de modo que las primeras máquinas industriales de vapor se instalaron en grandes minas de carbón, donde el combustible era abundante y barato. Aquí elevaron la productividad, sobre todo en las minas que se inundaban a menudo. En Coalbrookdale, en la fundición de Derby, se utilizó por primera vez en 1742 una máquina de vapor, no para extraer agua, sino para mover los fuelles de unos altos hornos. A mediados del siglo XVIII ya había empresas por toda Europa y América que utilizaban la máquina de Newcomen.

Los empresarios del ramo textil también experimentaron con las últimas técnicas, a fin de satisfacer la creciente demanda de productos del que era el segundo sector productivo más grande de casi todas las economías premodernas. Ya en 1702 se fundó en Derby una fábrica con máquinas holandesas de retorcer seda, movidas por una rueda hidráulica. En 1718, otro propietario, Thomas Lombe, protagonista de uno de los primeros casos de espionaje industrial planificado, copió ciertas técnicas que ya se utilizaban en Italia y levantó una fábrica mejorada. En la década de 1730 los fabricantes de lino y algodón se esforzaron por construir máquinas parecidas, así como máquinas que mecanizaran la tejeduría; entre éstas estuvo la lanzadera volante, inventada en 1733. El apoyo del gobierno, que se materializaba con decretos que prohibían la importación de artículos de algodón, fomentó la innovación desde los años treinta. En las décadas de 1770 y 1780 aparecieron tres máquinas que transformaron la hilatura del algodón: la *water frame* de Richard Arkwright, la *spinning jenny* de James Hargreaves y la *spinning mule* de Samuel Crompton, que era una modificación de la *jenny*^[24]. Las tres aumentaron notablemente la producción, aunque al principio se utilizaron sobre todo en la industria doméstica. Durante las dos últimas décadas del siglo, estas y otras innovaciones posteriores redujeron en un 85 por 100 el precio de los artículos de algodón, que en Europa dejó de ser un producto de importación caro y se convirtió en una mercancía de consumo masivo^[25].

Arkwright construyó su primera *water frame* a gran escala y la instaló en una fábrica, donde era movida por una rueda hidráulica. Las máquinas de este inventor no necesitaban el sistema fabril, pero las fábricas permitían a los empresarios tener más control sobre la disciplina y la calidad. Esto viene a recordarnos que los cambios fundamentales de este período fueron también organizativos y no sólo tecnológicos. En el mundo preindustrial, casi toda la producción no agrícola se había organizado en casas familiares o en talleres pequeños. Las empresas productoras consistían en pequeños grupos de individuos, a veces emparentados, que trabajaban juntos y a menudo en lo mismo; las empresas de esta clase pudieron multiplicarse durante un

tiempo a consecuencia de los primeros inventos de la revolución industrial, como la *spinning jenny*. La fábrica era una unidad de producción mucho mayor y más anónima, más parecida a un ejército que a una familia. Y normalmente exigía una división más compleja del trabajo, la destreza y la autoridad. La difusión posterior del modelo fabril estuvo relacionada con el cambio tecnológico: las máquinas fundamentales de gran tamaño rendían más si se concentraba la fuerza de trabajo en un solo sitio. Pero el modelo fabril dio además a los empresarios esa capacidad de orientar los procesos laborales que se necesitaba para maximizar la eficacia y reducir los costes. Al fin y al cabo, no podía esperarse que los trabajadores asalariados, contratados uno por uno, respondieran con la solidaridad propia de una familia que trabaja unida en su propia casa. Así pues, en la difusión de la fábrica tuvo que ver tanto la necesidad de mejorar la disciplina laboral como la tecnología^[26]. Era una forma de supervisar a la vez a los trabajadores y las máquinas. Las tecnologías de gestión de la revolución industrial tenían raíces en todos los suelos del naciente sistema global del mundo. La dirección disciplinada de grandes colectivos humanos se venía practicando en los ejércitos europeos desde el siglo XVI^[27] y en las plantaciones de esclavos de América. Otras técnicas de control, como los interrogatorios para la selección de personal, procedían en última instancia de China.

Los cambios descritos hasta aquí dan una idea de la fuerza que tenía la innovación en lo que se refiere a la organización y la técnica, por lo menos en sectores tan fundamentales como el textil, la extracción del carbón y la transformación del hierro. Sin embargo, poco se había hecho hasta entonces en Gran Bretaña que no pudiera haberse conseguido con los progresos alcanzados en otros lugares del sistema mundial afroeuroasiático: en China, en India y Pakistán, en el mundo islámico o en otros puntos de Europa. Lo que revolucionó la industria británica fue la yuxtaposición de la fuerza del vapor, el perfeccionamiento de la maquinaria y la organización fabril.

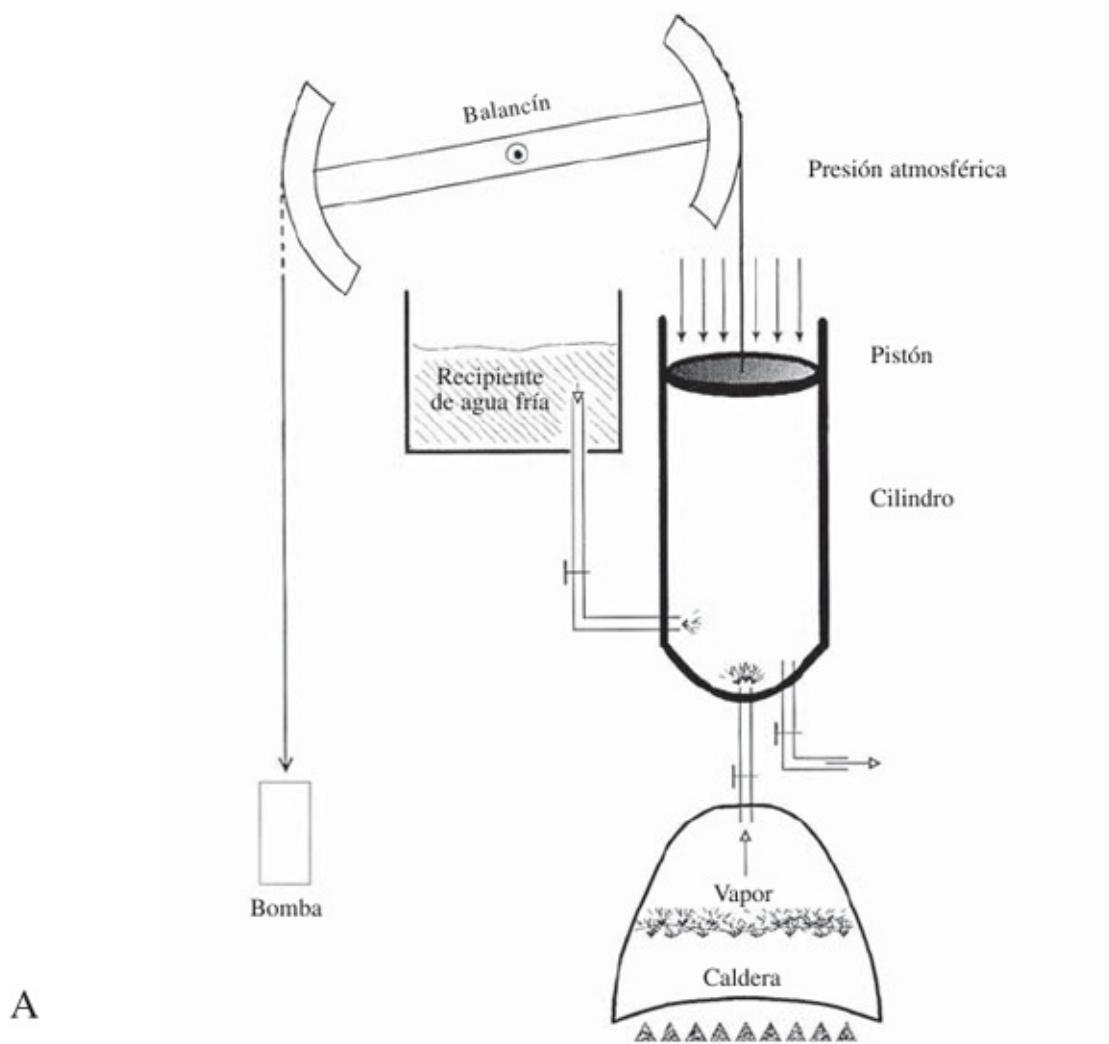
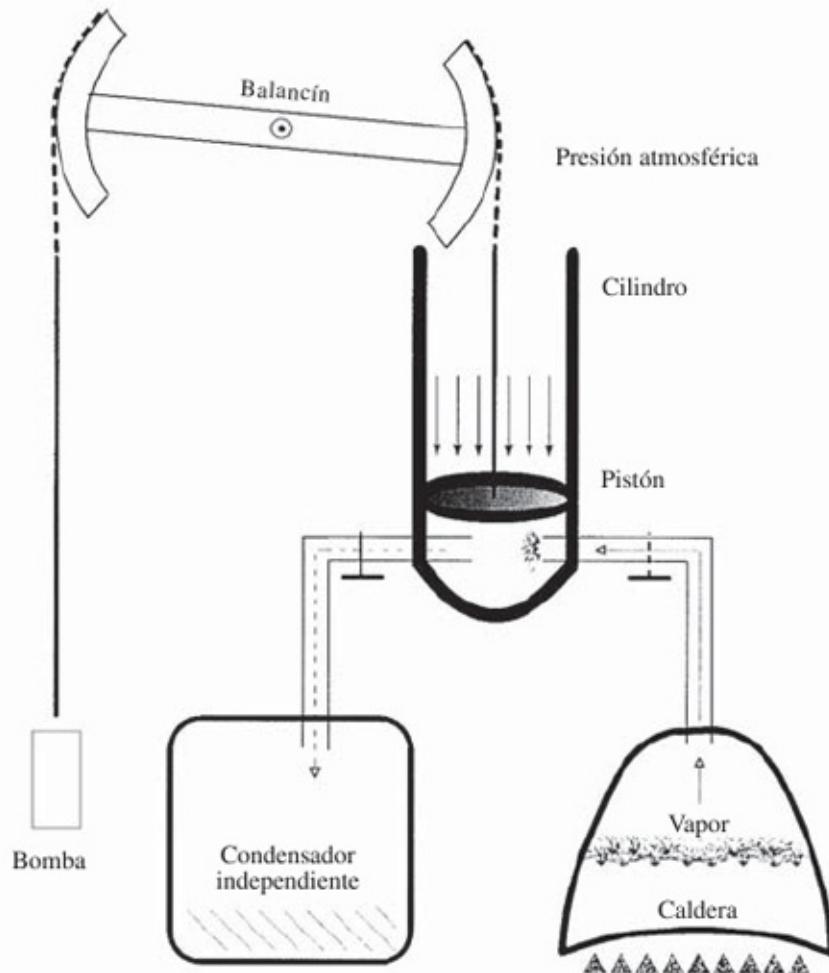


FIGURA 13.2. Evolución de la máquina de vapor en la Gran Bretaña del siglo XVIII. A: en la «máquina atmosférica» de Newcomen, utilizada por primera vez en 1712, se introducía vapor en un cilindro, se inyectaba un chorro de agua fría y el vapor, al condensarse, creaba un vacío que tiraba de un pistón que accionaba la bomba. Comparado con modelos posteriores, tenía poca utilidad, sobre todo porque el cilindro se calentaba y enfriaba sin cesar. En consecuencia consumía grandes cantidades de carbón y sólo podía aprovecharse en las minas, donde el carbón abundaba y era barato. B: James Watt patentó en 1760 una máquina de vapor perfeccionada. Entre las distintas mejoras, separó el condensador del cilindro para que la temperatura de éste fuera más constante. Además, para mover el pistón, empezó a utilizar la presión del vapor en vez del vacío creado por la condensación. El menor consumo de la máquina de Watt permitió utilizar las máquinas de vapor fuera de las minas de carbón. Tomado de James E. McClellan III y Harold Dorn, *Science and Technology in World History: An Introduction*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1999, p. 282, fig. 13.1, p. 284, fig. 13.2. © 1999 Johns Hopkins University, reimp. con permiso de The Johns Hopkins University Press.



B

James Watt introdujo mejoras en la máquina de vapor en la década de 1760. En primer lugar separó el condensador del cilindro, con lo cual eliminó una importante causa de pérdida de calor y consiguió que la máquina consumiera mucho menos combustible. En segundo lugar, en vez de aprovechar la presión atmosférica del vapor condensado para formar un semivacío (como la máquina de Newcomen), la máquina de Watt utilizaba directamente la fuerza expansiva del vapor para mover un pistón (véase la figura 13.2). Gracias a estos y otros cambios, la máquina de vapor fue más barata, más potente y más adaptable. En la década de 1790 ya había tornos movidos por máquinas de vapor y no por personas o ruedas hidráulicas, y la productividad se disparó. Una *spinning mule* movida por una máquina de vapor podía producir en 1800 tanto como 200 o 300 hiladores. La máquina de vapor perfeccionada representa el primer avance importante de la capacidad humana para generar energía en muchos milenios. En la disponibilidad de fuentes de energía para elaborar los productos básicos no había un cambio semejante desde que los humanos aprendieron a aprovechar la fuerza de tracción de otros animales, 6000 años antes, o desde que aprendieron a explotar sistemáticamente a otros humanos a gran escala, 5000 años antes. Con la introducción de la fuerza del vapor, y luego de la electricidad y el petróleo, las sociedades humanas empezaron por fin a explotar las inmensas fuentes

de energía encerradas en el mundo inorgánico. (El primer caso con trascendencia, la pólvora, se utilizó sobre todo en tecnologías destructivas y no productivas). Cada cambio inauguraba una nueva gama de nichos ecológicos para la explotación humana.

Las máquinas de vapor perfeccionadas elevaron rápidamente la productividad en unos cuantos ramos de la industria. Además impusieron cambios en la organización del trabajo, pues para compensar su coste tuvieron que mover cierta cantidad de aparatos, por lo cual fueron incompatibles con la industria doméstica. Funcionaban mejor en las fábricas, donde podía haber una inspección continua, y los trabajadores pasaron a ser poco más que protectores de máquinas: arreglaban los hilos rotos, las alimentaban con materias primas y las mantenían en buen estado. Al difundirse, las máquinas de vapor pasaron a ser importantes consumidoras de carbón y metal. Así pues, su uso fomentó la minería, la producción de hierro y diversos progresos en ingeniería. Al cabo de unas décadas habían revolucionado también los medios de transporte terrestre. La idea de utilizar el vapor como fuerza de locomoción flotaba en el aire desde hacía décadas (en la década de 1760 se había inventado en Francia una carretilla de vapor), pero las primeras máquinas de vapor que se construyeron eran demasiado grandes. La primera locomotora de vapor que funcionaba se construyó en 1802 en Coalbrookdale y su autor fue Richard Trevithick, que ya había diseñado una máquina de vapor de alta presión, más pequeño. La locomotora se utilizó al principio como un caballo mecánico, para transportar el carbón más aprisa. En los treinta años que siguieron se mejoraron tanto los raíles como las locomotoras. La Stockton and Darlington Railway, la primera línea que transportó pasajeros, además de carbón, se inauguró en 1825.

Lo primero que se advierte cuando repasamos estas innovaciones es que, aunque produjeron un impacto fundamental, evolucionaron acumulativamente, basándose en inventos y recursos tomados del sistema mundial. Los inventores británicos aprovecharon los saberes tradicionales y un conocimiento de técnicas dispuso en una compleja red de ideas que abarcaba todo el sistema global. La «hiladora de seda» de Thomas Lombe tiene una genealogía que se remonta a la China medieval, pasando por Italia. El conocimiento del potencial comercial del algodón reflejaba el alcance de las importaciones textiles de la India desde el siglo XVII, mientras que las técnicas del teñido debían mucho a los métodos indostánicos, persas y turcos^[28]. En un artículo titulado «The Pre-Natal History of the Steam Engine», Joseph Needham, historiador de la ciencia china, sostiene que había antecedentes en China y en Grecia, además de en Europa, y concluye: «De ningún individuo puede decirse que fuera “el padre de la máquina de vapor”; tampoco hubo una sola civilización que fuera su cuna^[29]». Las tecnologías de la primera revolución industrial fueron afroeuroasiáticas, incluso mundiales, pero donde primero se puso de manifiesto todo su potencial para aumentar la productividad fue en Inglaterra.

Además, en la industria lo mismo que en la agricultura, las técnicas que se necesitaron en las primeras etapas de la revolución industrial dependían más de los saberes artesanales tradicionales que en métodos o técnicas radicalmente nuevos. Hubo muchos pioneros que no eran científicos ni teóricos, sino trabajadores manuales. Peter Mathias señala que,

en términos generales, las innovaciones no fueron el resultado de la instrumentalización formal de la ciencia aplicada, ni una consecuencia del sistema educativo oficial del país. [...] La mayoría de las innovaciones salió de la cabeza de aficionados inspirados, o de artesanos brillantes y con experiencia en relojería, en instalación de maquinaria, en herrerías o en los gremios de Birmingham. [...] Eran sobre todo hombres locales, formados empíricamente, con horizontes locales, con frecuencia muy aficionados a las cuestiones científicas, hombres despiertos que trataban de solucionar directamente los problemas concretos. Esta tradición todavía predominaba en la industria manufacturera británica a mediados del siglo XIX. No fue casual que el Crystal Palace de 1851, un milagro de hierro y vidrio semejante a las grandes estaciones ferroviarias del siglo XIX, fuese una idea del jefe de jardineros del duque de Devonshire. El hombre sabía de invernaderos^[30].

Esto no quiere decir que inventar y desarrollar tecnologías nuevas fuera empresa fácil, ni que la ciencia no desempeñara ningún papel; pero el conocimiento tecnológico vigente había llegado a un punto que favorecía los descubrimientos^[31].

La otra explicación de esta oleada de innovaciones es de naturaleza comercial y social. Situados en una importantísima encrucijada de crecientes redes mercantiles gracias a la cambiante topología de las redes globales de intercambio y a la arrolladora comercialización de sus minorías dominantes, y con el control de mercados grandes y protegidos en la India, Pakistán y América del Norte, los empresarios británicos disponían de materias primas, como el algodón, que no había en Gran Bretaña. Además, podían vender en mercados grandes y protegidos que se estaban formando con rapidez suficiente para absorber los enormes incrementos de la producción posibilitados por la nueva maquinaria. Pero también el mercado interior británico estaba creciendo con rapidez conforme se revolucionaba la estructura de clases, y el número de individuos que abandonaban la economía de subsistencia de la aldea y pasaban a ser asalariados urbanos no hacía sino aumentar. Estos mercados insertos en un sistema global y en rápido crecimiento, y la intensa competencia comercial fomentaron la innovación, sobre todo en la producción de mercancías para el mercado de masas, por ejemplo los artículos textiles (véase la tabla 13.5). A este estímulo no respondieron sólo los inventores conocidos, sino también miles de caldereros, inversores y empresarios que sabían explotar comercialmente los inventos importantes. Las innovaciones que determinaron la revolución industrial británica fueron la respuesta de una sociedad sumamente mercantilizada a los nuevos problemas y oportunidades mercantiles. Eric Hobsbawm resume así el papel de la demanda:

Las exportaciones, apoyadas activa y sistemáticamente por el gobierno, aportaron la chispa y, con los artículos de algodón, el «sector líder» de la industria. También aportaron mejoras decisivas en el transporte marítimo. El mercado interior puso la ancha base necesaria para una economía industrial generalizada y (con

el crecimiento de las ciudades) los incentivos para hacer grandes mejoras en el transporte interior, una base potente para la industria del carbón y para determinadas innovaciones tecnológicas de importancia. El gobierno dio apoyo sistemático al comerciante y al fabricante y algunos incentivos, de ningún modo despreciables, para la innovación técnica y el desarrollo de industrias de bienes básicos^[32].

Sin embargo, la causa fundamental del ritmo acelerado de las innovaciones en la Gran Bretaña y la Europa del siglo XVIII fue la intensa urgencia por innovar que había en un mundo determinado por las fuerzas competitivas de un capitalismo progresivamente global. El peso de las presiones mercantiles se aprecia en las motivaciones concretas de los inventores. James Watt, por ejemplo, dijo en su autobiografía que estaba interesado en construir máquinas «buenas y baratas^[33]». Un indicador aún más claro es el que proporciona la astronómica cantidad de innovaciones que hubo en la Europa del siglo XVIII. Y como en todas partes aumentaba la necesidad de innovar en el proceso de industrialización, los índices de innovación se dispararon en todas las regiones que se estaban industrializando. Esto da a entender que en Europa occidental había aparecido una cultura de la innovación, un medio que estimulaba a los empresarios a buscar nuevas técnicas y a ponerlas en práctica. Estos argumentos son los puentes más sólidos de las explicaciones de la revolución industrial que se basan en el comercio y en la estructura social.

TABLA 13.5. VALOR AÑADIDO EN LA INDUSTRIA BRITÁNICA, 1770-1831 (MILLONES DE LIBRAS).

<i>Sector</i>	<i>Producto</i>	<i>1770</i>	<i>1801</i>	<i>1831</i>
Textil	Algodón	0,6	9,2	25,3
	Lana	7,0	10,2	15,9
	Lino	1,9	2,6	5,0
	Seda	1,0	2,0	5,8
Carbón y metal	Carbón	0,9	2,7	7,9
	Hierro	1,5	4,0	7,6
	Cobre	0,2	0,9	0,8
Construcción	Edificios	2,4	9,3	26,5
Bienes de consumo	Cerveza	1,3	2,5	5,2
	Piel	5,1	8,4	9,8
	Jabón	0,3	0,8	1,2
	Velas	0,5	1,0	1,2
	Papel	0,1	0,6	0,8
Totales		22,8	54,2	113,0

FUENTE: Maxine Berg, *The Age of Manufactures, 1700-1820: Industry, Innovation, and Work in Britain*, Routledge, Londres, 1994², p. 38.

LA REVOLUCIÓN POLÍTICA DE FRANCIA

Con la revolución económica se produjo asimismo una revolución política. El poder y alcance de los estados crecieron de manera paulatina en los siglos XVII y XVIII y con rapidez en el XIX, y lo mismo ocurrió con los recursos a su disposición. En consecuencia, se modificó su relación con la población gobernada. Los sistemas políticos actuales son a los grandes imperios exactores del pasado lo que estos imperios fueron a las jefaturas y a los sistemas del «gran hombre» a los que desplazaron. Charles Tilly comenta el proceso:

Los estados europeos han sufrido una evolución muy singular en el curso de los últimos mil años: eran avispas y se han convertido en locomotoras. Durante mucho tiempo se concentraron en la guerra, dejando la mayor parte de las actividades en manos de otras organizaciones, siempre que éstas rindieran tributo a intervalos apropiados. Los estados exactores siguieron siendo belicosos, pero perdieron peso en comparación con sus hinchados sucesores; clavaban el agujón, pero no lo succionaban todo. Con el paso del tiempo, los estados —incluso las variedades más capitalistas— se hicieron cargo de las actividades, competencias y misiones cuya sola financiación representaba un freno. Estas locomotoras discurrían por raíles costeados por la población civil y mantenidos por un cuerpo administrativo. Sin los raíles, las máquinas de guerra no podían ir a ninguna parte^[34].

El poder de los estados europeos venía creciendo desde hacía siglos, por un lado a consecuencia del aumento de los recursos a disposición de las sociedades con gran empuje comercial, y por el otro en respuesta a las demandas fiscales y organizativas de la revolución de la pólvora^[35]. Pero estos cambios, que culminaron en el «absolutismo» de los siglos XVII y XVIII, fueron simples ejercicios de recuperación. En comparación con los gigantescos estados imperiales de China o del orbe islámico, los estados europeos del año 1000 d. C. eran pequeños y frágiles. La competencia militar, acentuada por la aparición de la pólvora, eliminó a los estados menores y con menos posibilidades. Los que sobrevivieron atravesaron una tórrida adolescencia durante la cual aprendieron muchas lecciones y conquistaron muchas habilidades adquiridas muchísimo antes por los grandes imperios agrarios. Sin embargo, el poder y el alcance de los estados absolutistas europeos no tienen nada de asombroso cuando se comparan con los estados chino u otomano.

Lo que cambió a raíz de la Revolución francesa fue la profundidad de la intromisión del poder estatal en la vida de la mayoría de los súbditos. Como señala Tilly:

Después de 1750, en los tiempos de la nacionalización y la especialización, los estados empezaron a pasar de un sistema casi universal de gobierno indirecto a un sistema nuevo de gobierno directo: la intervención no mediatisada en la vida de las comunidades, las familias y las industrias locales. Mientras los gobernantes dejaban de contratar mercenarios y pasaban a reclutar soldados entre la propia población nacional, y conforme aumentaban los impuestos para financiar los grandes ejércitos propios de las guerras del siglo XVIII, ganaban acceso a las comunidades, las familias y las industrias, y en el proceso eliminaban a los intermediarios autónomos^[36].

El cambio puede verse con toda claridad en la Francia revolucionaria, sobre todo porque la revolución propiamente dicha eliminó a muchos intermediarios que habían tenido autoridad durante el antiguo régimen. Pero también impulsó el cambio la

necesidad de reunir ejércitos nuevos y poderosos partiendo de cero. Las conquistas francesas difundieron a su vez los nuevos métodos de gobierno (junto con el sistema métrico decimal) por otras regiones de Europa.

Para que estos cambios se produjeran fue esencial la gestión de la guerra. Mientras que los estados de comienzos de la modernidad europea se habían basado sobre todo en los ejércitos mercenarios, desde la Revolución francesa en adelante empezaron a participar directamente en el reclutamiento, la organización y la financiación de ejércitos nacionales. En consecuencia se amplió el papel fiscal y organizativo de los estados, que por ello mismo tuvieron que empezar a preocuparse por problemas que no les había afectado hasta entonces, como la salud y la educación de los soldados potenciales^[37]. Estas presiones obligaron a los gobiernos a recopilar más información sobre los recursos demográficos y económicos que controlaban. Ya entrado el siglo XIX, empezaron a interesarse también por la salud pública y a financiar sistemas de educación pública. Las ideologías políticas y los compromisos electorales obligaron igualmente a los gobiernos revolucionarios franceses a responsabilizarse de la asistencia social de las clases populares y de la ley y el orden. La organización de milicias ciudadanas transformó el sentimiento nacionalista en un crucial mecanismo de legitimación, en virtud del cual los estados se convirtieron en fervientes protectores del pensamiento nacionalista y de los historiadores y literatos que formulaban ideologías nacionalistas.

La política electoral obligó a los estados a buscar la simpatía de crecientes sectores de la población, y la buscaron, por lo menos hasta cierto punto, presentándose como representantes del «pueblo». Ante la sorpresa de muchos tradicionalistas, la política democrática, llevada con prudencia, fortalecía los estados en vez de debilitarlos. Las elecciones pusieron también a disposición de los gobiernos nuevas fuentes de información sobre los cambios de actitud y las reivindicaciones de la población gobernada, aunque limitaron la medida en que los funcionarios y otros intermediarios podían filtrar la información que se transmitía a los gobernantes. Fuera cual fuese el mecanismo concreto, los nuevos métodos de recopilación de información —o de «vigilancia», como dice Anthony Giddens^[38]— fueron decisivos para los gobernantes en los nuevos y complejos medios de la política moderna.

El orden público fue un campo en el que estos cambios se reflejaron de manera decisiva, ya que su creación fue parte del proceso por el que los estados modernos acabaron monopolizando los medios de coacción. En la Francia del antiguo régimen, el estado se interesaba poco por los asuntos de orden público, que solía estar en manos de las autoridades locales; en los casos extremos se recurría al ejército. En la década de 1790, el gobierno francés fundó la primera organización burocratizada de policía, con funciones más preventivas que reactivas ante el delito y los desórdenes. Su primer director fue el antiguo jacobino Joseph Fouché, que fue nombrado ministro de policía. Como dice Tilly, «en la época de Fouché, Francia fue uno de los países más estrechamente vigilados del mundo^[39]».

Así pues, fue en Francia donde cuajó primero lo que ha acabado por ser el estado moderno: una gran organización burocrática con una escala, un poder, una riqueza y un alcance inimaginables en el mundo premoderno. Esta revolución política de la modernidad es a la vez causa y consecuencia de la revolución económica. Es causa en la medida en que para que el capitalismo alcanzase todo su dinamismo se necesitaban estados eficaces con orientación comercial. La elevación del índice moderno de las diferencias económicas concentró en manos de las minorías más riqueza que nunca, y la conservación de estos vastos depósitos exigió la construcción de diques mucho más resistentes que los de la era agraria. Los estados, en suma, tenían que tener poder suficiente para proteger a los ricos y a los empresarios. Giddens señala que

la otra cara de la propiedad privada, como subrayaba Marx con gran coherencia, es que las masas de individuos pierden el control sobre los medios de producción. [...] La «liberalización» del trabajo asalariado fue sin lugar a dudas un factor decisivo en la aparición de la empresa capitalista a gran escala. Sin la centralización de un aparato legal coercitivo es probable que este proceso no hubiera cuajado o que no hubieran arraigado con tanta firmeza los derechos de la propiedad privada como capital^[40].

La defensa de la diferencia económica afectó a muchos ámbitos de la vida. En Gran Bretaña entrañó la promulgación de leyes sobre cercamientos; la protección de los bosques de la corona (que E. P. Thompson ha descrito de un modo ejemplar); el encarcelamiento, deportación o ejecución de rateros y ladronzuelos; y la protección de los derechos empresariales frente a la violencia industrial (un tema tratado también con brillantez por Thompson^[41]). Pero afectó también a muchos otros ámbitos. Por ejemplo, no se podía crear un sistema monetario moderno si no había un estado poderoso que tuviera importantes recursos fiscales y administrativos, además de un control efectivo sobre la legislación y los tribunales.

Pero el estado moderno es al mismo tiempo un producto de las transformaciones económicas de la modernidad. Así como los primeros estados aparecieron hasta cierto punto para solucionar los problemas que plantearon la dirección y la organización de las gigantescas concentraciones de personas y recursos de las primeras ciudades, también los estados modernos fueron, al menos hasta cierto punto, una forma de responder a los problemas y las posibilidades totalmente inéditos que planteó la abundante riqueza generada en las economías industriales. La sola escala de los recursos que estaban a disposición de los estados modernos habría exigido nuevos métodos de dirección incluso sin la necesidad estatal de administrar y engrasar la maquinaria del comercio que generaba el desarrollo. Pero los estados modernos también sacaron provecho de las nuevas tecnologías, sobre todo en los asuntos militares. Las nuevas formas de comunicación modificaron el movimiento de tropas y vituallas, mientras que los nuevos métodos manufactureros transformaron no sólo la producción de armas, sino también su naturaleza. La guerra de Secesión norteamericana fue la primera guerra industrializada de los tiempos modernos. Al mismo tiempo, el desarrollo de las comunicaciones y el aumento de la alfabetización aumentaron la capacidad de los estados para administrar la masa de información que

necesitaban para gobernar con eficacia. Y mientras dependían de manera progresiva de las tecnologías y de los cuantiosos ingresos generados por las economías modernas, los estados modernos tuvieron que aprender asimismo a estimular el desarrollo moderando su legislación sobre las actividades empresariales y su interferencia en las mismas. Como sostiene Karl Polanyi en un estudio clásico sobre la modernidad, la conocida idea de que el estado moderno es menos intervencionista que los estados premodernos es falsa. En términos generales, los estados modernos intervienen más y con más eficacia que los estados agrícolas tradicionales; pero por otro lado saben muy bien que hay sectores económicos en los que una intervención excesiva puede resultar contraproducente^[42].

Estas generalizaciones han conocido multitud de excepciones en los dos últimos siglos. Ha habido muchos estados modernos que no han conseguido controlar de cerca la vida de sus ciudadanos; otros no han podido organizar el marco necesario para el desarrollo de una economía capitalista viable. Pero para los ciudadanos de los muchos estados que sí han sufrido estas transformaciones las consecuencias han sido paradójicas.

Por una parte, el estado moderno regula la vida de los ciudadanos sirviéndose de medios que en la era de los estados exactores habrían sido inconcebibles y seguramente considerados intolerables. Exige que se separe a los niños de los padres para que reciban educación obligatoria; exige información detallada sobre la vida de los individuos en aspectos que van desde los ingresos hasta las convicciones religiosas; legisla con toda clase de pormenores sobre cómo podemos y no podemos comportarnos. Y ahí están las formidables fuerzas de policía para hacer valer estas exigencias. El estado moderno se ha hecho cargo de muchas funciones educativas, económicas y de orden público que antaño estaban en manos de las familias y las comunidades locales. En este sentido, nuestra vida está más controlada por el estado que nunca. A semejanza de los centros nerviosos de los organismos policelulares, los estados modernos regulan la vida de los individuos porque sin cierto grado de coordinación central no podrían existir unas comunidades humanas que son muchísimo mayores y más interdependientes que las de los estados premodernos.

Por otra parte, casi todos los estados modernos fomentan la participación en la creación y puesta en práctica de medidas políticas mediante debates públicos y elecciones en las que pueden presentarse los ciudadanos en general. De este modo, los estados modernos animan a los ciudadanos a considerarse agentes activos y no simples súbditos. Además, los gobiernos modernos ponen límites claros a su propio poder, porque saben que la riqueza que administran depende en gran medida de no reglamentar demasiado la actividad empresarial. Y aunque tienen a su disposición más fuerza que ningún estado premoderno, normalmente la exhiben con más discreción. Además, los estados modernos posibilitan muchas actividades que habrían sido imposibles sin ellos. Proporcionan infraestructuras, protección y servicios de muchas clases, desde la educación hasta la atención sanitaria pública, y mantienen el

marco legal y administrativo necesario para que prosperen las economías capitalistas modernas.

Aunque la capacidad reguladora del estado moderno se ha calificado a veces de «totalitaria», sus esfuerzos por aglutinar a todos los ciudadanos y cuidar de ellos explican por qué muchos lo consideran un aliado y un defensor de la libertad. Gran parte de la moderna vida política procede de la incesante renegociación de este equilibrio entre las actividades de control y las actividades de asistencia del estado moderno.

LA REVOLUCIÓN CULTURAL

Entre los muchos cambios que transformaron la vida cultural hay que señalar la emigración de los antiguos campesinos a los centros urbanos, el creciente interés por las innovaciones tecnológicas, la preocupación de los gobiernos por la educación y la difusión de nuevos medios de comunicación de masas.

El cambio individual más importante fue tal vez la difusión de la educación colectiva. La educación, como ya hemos visto, apareció para hacer frente a las ingentes tareas administrativas de los primeros estados. Pero fue monopolio de minorías privilegiadas durante casi toda la era agraria, una forma de poder que se negó a la mayoría de la población. La relación de los estados modernos con sus ciudadanos era totalmente distinta, ya que exigía que toda la población, al menos hasta cierto punto, participara en las gigantescas labores organizativas de la sociedad. El requisito imprescindible para la participación popular en las funciones productivas y administrativas fue la alfabetización general. El efecto de esta revolución cultural fue profundo. Por ejemplo, la alfabetización colectiva se puso a «desencantar» el mundo socavando la autoridad de las formas de pensamiento tradicionales, a menudo con componentes mágicos. De este modo, la educación colectiva contribuyó a difundir una concepción del mundo diferente; si no una sólida comprensión de la ciencia moderna, por lo menos cierto escepticismo sobre los mapas no científicos de la realidad.

Estos progresos aparecieron acompañados y fueron influidos por un cambio profundo en la naturaleza de la alta cultura y en las actitudes ante el conocimiento. La actitud moderna habitual ante el conocimiento se puede calificar de competitiva, por comparación con el mercado. En las civilizaciones agrarias, en que la mayoría dependía de la información transmitida oralmente, el conocimiento estaba determinado en gran medida por la autoridad de maestros concretos. La educación consistía en la transmisión de habilidades y saberes tradicionales. Allí donde se difundía la alfabetización, el conocimiento se volvía abstracto y menos personal, y el conocimiento abstracto adquiría una autoridad totalmente independiente del prestigio de los maestros concretos. Además, en las sociedades en proceso de mercantilización

se volvió costumbre *poner a prueba* el conocimiento tradicional, como vemos en la Grecia clásica, en la Persia abasí, en la China Song y en los primeros tiempos de la Europa moderna. Los métodos europeos de poner a prueba el conocimiento tenían un precedente en la tradición dialéctica de la filosofía socrática, transmitida por el mundo islámico, en cuyas madrazas se resolvían cuestiones importantes mediante el debate^[43]. Y en el Renacimiento, pensadores como Leonardo y Colón consideraban normal ir de corte en corte ofreciendo sus ideas, como si fueran buhoneros intelectuales^[44].

El naciente mercado de las ideas, en el que éstas no sobrevivían en virtud de la autoridad de maestros concretos, sino porque encontraban compradores que ponían a prueba su calidad, fue la palestra de juventud de la ciencia moderna. Aunque la influencia de la ciencia en los métodos de producción era todavía limitada, el estilo científico de pensar ya estaba presente en un mundo progresivamente dominado por las fuerzas del mercado, tanto en el campo de las ideas y de la política como en el terreno comercial. Como sostiene Margaret Jacob: «A finales del siglo XVIII y principios del XIX, el conocimiento científico había calado muy profundamente en el pensamiento de los ingleses cultos y [...] este conocimiento contribuyó de manera directa a la industrialización, a la construcción del mundo en el que hoy vivimos^[45]». Pero el mercado de las ideas, como el de bienes de consumo, era ya global; las nuevas tecnologías, como las de la imprenta, permitían que las nuevas ideas circularan más aprisa y por un territorio más amplio. En el siglo XIX, y en Alemania en primer lugar, la ciencia empezó a integrarse en la actividad empresarial, y las empresas fundaban laboratorios con la misión concreta de elevar la productividad y los beneficios. En las postrimerías del siglo, la investigación científica estaba adquiriendo ya un papel fundamental en procesos de innovación que habrían podido languidecer si hubieran seguido confiándose a las habilidades técnicas y prácticas de los empresarios y los artesanos privados.

La penetración de la ciencia en la cultura moderna podría reflejar también otros cambios, menos perceptibles. Los asalariados, a diferencia de los campesinos tradicionales que practicaban una agricultura de subsistencia, vivían en un mundo en el que las fuerzas dominantes no eran ya caciques o gobernantes concretos, con nombre y apellidos, de los que podían quejarse. El mundo moderno está regido por fuerzas mayores y más impersonales, desde burocracias sin rostro hasta abstracciones como «la inflación» o «el imperio de la ley». Allí donde las fuerzas abstractas se encargan de ejercer la coacción del terrateniente, el verdugo y el capataz, no es de extrañar que aparezcan cosmologías regidas asimismo por fuerzas abstractas. Es posible que el rostro de Dios esté condenado a desaparecer detrás de la máscara neutral de la gravedad en un mundo determinado más por el comercio que por la coacción.

LA SEGUNDA Y TERCERA OLAS

La investigación reciente ha hecho hincapié en los límites de la primera etapa de la revolución industrial. En Gran Bretaña aumentó rápidamente la productividad en la agricultura, en la industria del algodón, en la metalurgia y otras ramas de la industria, pero los ritmos de expansión de la economía británica no destacaron por su aceleración hasta la década de 1830. Las primeras innovaciones que aparecieron en la industria británica afectaron a sectores concretos de la economía, pero otros cambiaron poco hasta mediados del siglo XIX (véase la tabla 13.5). A pesar del crecimiento de la productividad en la agricultura, la producción de productos alimenticios estuvo un poco por detrás del crecimiento de la población hasta la década de 1830^[46]. Y la ralentización del crecimiento económico después de la década de 1870 sugiere que, por sí sola, la revolución industrial británica sólo pudo generar un impulso limitado. Si se hubiera producido, como en el caso de la revolución industrial de la China Song, en la periferia de un sistema mundial regional, su impacto habría sido más limitado y es posible que se hubiera disipado antes de un siglo.

Pero Gran Bretaña no era la China Song y estaba en el centro de las redes de intercambio más grandes y potentes que había habido en la historia, y el mundo en su conjunto estaba más unificado y orientado al mercado. Además, la revolución industrial resultó que se energizaba sola, ya que los inventos en el sector de los transportes y las comunicaciones —el ferrocarril, los buques de vapor, la bicicleta, la imprenta moderna, el telégrafo, el teléfono— aceleraban el intercambio de información en general y de nuevas tecnologías en particular. «Con la mejora de su movilidad —señala Joel Mokyr—, la tecnología viajó más fácilmente: la mentalidad de los emigrantes, la maquinaria vendida a países lejanos, los libros y periódicos técnicos, todo traía información tecnológica que iba de país en país. Más movilidad supuso asimismo más competencia internacional e interregional. Las sociedades que se habían quedado al margen del cambio tecnológico, desde Japón hasta Turquía, se sentían rezagadas y amenazadas, ya que la distancia las protegía cada vez menos^[47]». El desarrollo de las comunicaciones hizo que las innovaciones que reducían costes y aumentaban beneficios se adoptaran antes en las regiones ya mercantilizadas del Atlántico norte. El resultado no fue una explosión regional de innovaciones que se apagó al cabo de un par de siglos, sino una reacción en cadena que al final afectó a todo el planeta.

Las pautas de la industrialización variaron mucho a nivel regional. Como ya señaló Alexander Gerschenkron en los años sesenta, la secuencia del cambio tuvo consecuencias por sí sola^[48]. A principios del siglo XIX eran muchos los observadores exteriores que se daban cuenta de los cambios que se estaban produciendo en Gran Bretaña. Fue prácticamente inevitable que la industrialización fuese desde entonces un proceso más consciente, más dependiente de la intervención deliberada y más o

menos planificada de los gobiernos (un proceso que culminaría en las economías dirigidas del siglo XX). Se podía imitar la tecnología británica y los gobiernos se dispusieron a fomentar el desarrollo de manera progresiva. Gobiernos y grandes bancos dirigían ya activamente el cambio industrial a finales del siglo XIX. Pero también influyeron las diferencias relativas a los recursos existentes, a la estructura social vigente, a las estructuras gubernamentales y a la geografía. La producción industrial fue el motor de los primeros cambios en Gran Bretaña, Bélgica, Alemania y Checoslovaquia, mientras que en Francia, los Países Bajos y Suecia no hubo un sector industrial moderno hasta tiempo después. No obstante, los ritmos de expansión económica en general fueron impresionantes en todas estas regiones durante el siglo XIX.

Si observamos el conjunto del cuadro, identificamos una secuencia, una serie de «olas» de industrialización, determinadas por tecnologías diferentes y con diferentes centros dinámicos^[49]. La primera ola, a finales del siglo XVIII, tuvo poca repercusión fuera de Gran Bretaña. El impacto decisivo de la tecnología del vapor en concreto no se hizo patente hasta mediados del siglo XIX, durante la segunda ola de innovaciones. Entre 1820 y 1850 comenzó la industrialización en serio en Bélgica, Suiza, Francia, Alemania y Estados Unidos. En la década de 1870, estas regiones creaban ya sectores nuevos, como la industria química (sobre todo para fabricar tintes y fertilizantes), la electricidad y el acero. Según Daniel Headrick ése fue el momento en que se produjo la tercera ola de innovaciones. La revolución industrial se extendía ya con gran rapidez por todas las economías noratlánticas; en realidad, progresos como la explotación de la electricidad dependieron de un abanico de innovaciones adoptadas ya en distintas partes de esta región axial, como Italia, los Balcanes, Alemania, la península escandinava, Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos.

Los industriales alemanes fueron los primeros en aplicar sistemáticamente la ciencia a la producción, mientras que Estados Unidos se adelantó en la industrialización de la agricultura, la producción en serie de recambios para mercancías como los fusiles y, durante la guerra de Secesión, la industrialización de la guerra. En 1900, Estados Unidos ya iba por delante de Gran Bretaña en la producción de manufacturas, y Alemania pisaba los talones a los dos; Estados Unidos era responsable de casi el 24 por 100 de la producción manufacturera mundial, el Reino Unido de casi el 19 por 100 y Alemania del 13 por 100 (véase la tabla 13.2). Alemania y Estados Unidos fueron asimismo los primeros países en ensayar dos formas de organización industrial, nuevas y policelulares: la empresa nacional, que integraba verticalmente objetivos repartidos hasta entonces en muchas empresas independientes, desde la producción de materias primas hasta la manufactura y las ventas al por mayor y al por menor; y la empresa sectorializada o polidivisionaria, que integraba horizontalmente sectores de producción diferenciados hasta

entonces^[50]. La segunda y tercera olas crearon conjuntamente una larga escalada de la producción a finales del siglo XIX, no igualada hasta la segunda mitad del XX.

La segunda y tercera olas, como un gran maremoto de cambios, llevó la revolución industrial al resto del mundo, donde su impacto fue sobre todo destructivo. Así como la primera etapa de la globalización había destruido las sociedades tradicionales de América, la nueva tanda de integración global destruyó los sistemas políticos, sociales y económicos tradicionales que quedaban al margen de los nacientes centros industriales de la costa noratlántica. Conforme aumentaba la productividad en la industrializada región axial y bajaban los precios de mercancías británicas como los artículos textiles hechos con máquinas, los fabricantes de otras regiones vieron amenazadas sus fuentes de ingresos por las importaciones de origen europeo. Al entrar en los mercados globales, los pequeños fabricantes tuvieron que competir con grandes empresas que utilizaban las tecnologías más actuales, y había pocas dudas sobre quién perdería al final. Allí donde las potencias europeas tenían capacidad para acelerar estos procesos, por ejemplo en la India y Pakistán, los aceleraron manipulando barreras arancelarias u obligando a potencias y colonias más débiles a aceptar los productos europeos. Desde esta perspectiva, la capacidad de unos ejércitos recién industrializados, con armas modernas de producción en serie, y de unos medios de transporte mejores, como los buques de vapor y los ferrocarriles, pudo resultar decisiva, tan decisiva que Europa fue capaz de importar grano de la India incluso durante las terribles hambrunas que sufrió la península indostánica a finales del siglo XIX^[51]. Incluso la economía china, antaño autosuficiente, acabó cediendo ante la atracción gravitatoria de las economías noratlánticas que curvaba de manera creciente el espacio del comercio internacional. Gran Bretaña obligó a China a aceptar productos europeos, empezando por el opio, después de la primera guerra del opio (1842), cuando las fuerzas británicas amenazaron con cortar las rutas fluviales que abastecían al norte de cereales. Durante los siguientes sesenta años, las potencias europeas industrializadas se fueron apoderando económica y políticamente de China, tal como había hecho ya Gran Bretaña al apoderarse de la gigantesca economía del Gran Mogol. La última gran ola de imperialismo político se produjo en las dos últimas décadas del siglo, cuando los estados europeos impusieron un control imperial directo en gran parte de África. Las colonias económicas y políticas de Europa conocieron las formas más depredadoras del capitalismo decimonónico.

Las transformaciones de finales del siglo XIX crearon un mundo dividido entre los que tenían economía industrial y los que no la tenían. Los mismos procesos que enriquecieron a las sociedades del litoral noratlántico arruinaron a casi todo el resto del mundo; y las desigualdades interiores de cada nación, multiplicadas espectacularmente con la decadencia del campesinado tradicional, pasaron a ser ahora desigualdades entre regiones y naciones. Conforme cambiaba el equilibrio del poder económico y militar, la participación mundial de la producción industrial china pasó del 33 por 100 en 1800 al 6 por 100 en 1900 y al 2 por 100 en 1950; la de la India y

Pakistán pasó del 20 por 100 en 1800 a menos del 2 por 100 en 1900. La expresión *tercer mundo*, acuñada en el siglo xx, seguramente carecía de sentido en 1750, cuando lo que hoy es el tercer mundo era responsable de casi el 75 por 100 de la producción industrial mundial. A finales del siglo xx era responsable de menos del 15 por 100. La producción industrial del tercer mundo decayó en la segunda mitad del siglo xix: del 37 por 100 en 1860 pasó al 21 por 100 en 1880 y alrededor del 7 por 100 durante gran parte de la primera mitad del siglo xx (véanse la tabla 13.2 y la figura 13.3).

El desfase entre el «primer» y «tercer» mundo, que acabó por ser un rasgo familiar en el paisaje internacional del siglo xx, se manifestó por primera vez a finales del siglo xix. Como dice Mike Davies,

En el momento de tomarse la Bastilla, las divisiones verticales de clase de las principales sociedades del mundo no se resumían en las brutales diferencias de ingresos entre sociedades. Las diferencias, por ejemplo, entre el nivel de vida de un *sans-culotte* francés y un agricultor del Decán eran relativamente insignificantes en comparación con el abismo que separaba a ambos de su respectiva clase dominante. Al final del reinado de Victoria, sin embargo, la desigualdad de las naciones era tan profunda como la desigualdad de las clases. La humanidad se había dividido irrevocablemente. Y la famosa «famélica legión» a la que la *Internacional* pide que se ponga en pie fue un invento tan moderno del mundo victoriano tardío como el alumbrado eléctrico, las ametralladoras Maxim y el racismo «científico^[52]».

Las hambrunas de finales de la década de 1870, que afectaron a las regiones ecuatoriales y subecuatoriales de todo el mundo, señalaron un punto de inflexión en la historia del mundo moderno, ya que el efecto socioeconómicamente perturbador del imperialismo europeo multiplicó el impacto de una sequía tradicional, relacionada con El Niño, y produjo uno de los peores períodos de hambre que se habían dado desde el siglo xv^[53]. Peor aún fue lo que se produjo en el transcurso de los veinticinco años siguientes, mientras el tercer mundo en ciernes se iba integrando en las redes del transporte global, por las que el hambre y las epidemias se desplazaban por más territorio y más aprisa que nunca. Murieron más personas en estas catástrofes que en la primera guerra mundial.

Cuando los gobernantes tradicionales y al margen de la industrialización se dieron cuenta de su vulnerabilidad, se plantearon la posibilidad de industrializar su país. Pero ¿cómo? Las conclusiones a que he llegado en el capítulo anterior nos dicen que los problemas que afrontaron eran tanto políticos y culturales como económicos. Alcanzar los índices de innovación de la región axial del Atlántico norte quería decir que había que cambiar no sólo las estructuras económicas, sino también el sistema político y las actitudes culturales si se quería crear una sociedad capitalista bien integrada. Iba a ser una maniobra política delicada y difícil, sobre todo para los gobiernos más tradicionales, como el de la Rusia zarista, que mantenía muchas de las actitudes antimercantiles propias de los imperios exactores tradicionales. Los gobiernos tradicionales tendrían que llegar al final a un acuerdo con el nuevo mundo de la industria, pero, fueran cuales fuesen los acuerdos, inevitablemente pondrían en

peligro la base secular en que se apoyaban tales gobiernos y minarían su estabilidad. Entre finales del XIX y principios del XX, dos gobiernos muy tradicionales, cuyas sociedades estaban ya modestamente mercantilizadas, lanzaron una campaña de industrialización dirigida por el estado. Mientras que el gobierno Meiji del Japón sorteó los rápidos de la industrialización con gran acierto, el gobierno zarista no tuvo tanta suerte; la paradójica misión de planear una industrialización sin empresarios correspondió al gobierno comunista de Stalin. Aunque la campaña de industrialización de Stalin consiguió éxitos notables al principio, su fracaso final ejemplifica la dificultad de sostener las innovaciones sin un mercado competitivo^[54]. Otras regiones poderosas en otra época —el mundo islámico, India, Pakistán y China— acometieron reformas sin demasiado entusiasmo y pasaron a depender de manera paulatina de las fuerzas económicas de Europa y a veces de sus fuerzas armadas.

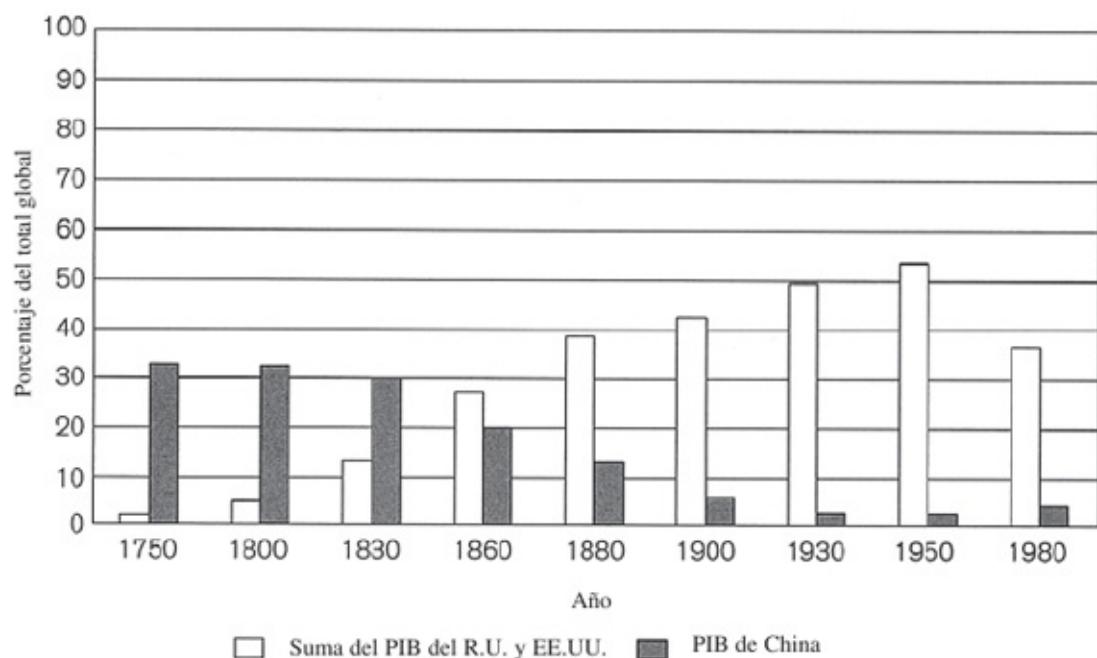


FIGURA 13.3. El «ascenso de Occidente»: porcentaje del potencial industrial de China y el Reino Unido/Estados Unidos, 1750-1980, respecto del total global. Basada en la tabla 13.2.

RESUMEN

Europa occidental fue la primera en cruzar el umbral de la modernidad, en el siglo XVIII y a principios del XIX. El cambio tuvo tres aspectos interrelacionados: el económico, el político y el cultural. Donde más se ha estudiado la revolución industrial (etiqueta aplicada a los aspectos económicos del cambio) ha sido en Inglaterra, el país en que primero se detectaron los cambios. Las estructuras sociales de Inglaterra se habían adaptado ya estrechamente al modelo de sociedad capitalista en el siglo XVIII, con su creciente clase de asalariados y sus gobiernos defensores de los intereses mercantiles. El potencial innovador del capitalismo británico se

manifestó primero en la agricultura, cuya productividad elevaron los terratenientes orientados al comercio introduciendo mejoras a gran escala. Los avances industriales llegaron después; la innovación crucial fue el empleo de la fuerza del vapor en las grandes fábricas, que posibilitó el acceso al filón energético de los combustibles fósiles. El crecimiento de la riqueza y la necesidad de administrar las economías de mercado y de proteger las nuevas formas de riqueza plantearon problemas nuevos a los gobiernos, que tuvieron que movilizar recursos y apoyo político por vías nuevas. Estos procesos se ven con toda claridad en los cambios revolucionarios que transformaron el gobierno francés desde finales del siglo XVIII. Por primera vez en la historia, el gobierno se introducía en la vida cotidiana de la mayoría de los súbditos y se interesaba por su educación, su salud y sus actitudes. El cambio cultural más trascendente de la época fue probablemente la creciente importancia que adquirieron los enfoques científicos del mundo. Aunque las actitudes científicas no afectaron al grueso de la población hasta que las divulgó la educación de masas del siglo XX, desempeñaron un papel importante en las innovaciones tecnológicas de la revolución industrial. La influencia de la ciencia adquirió una importancia creciente durante la segunda y tercera olas de innovaciones del siglo XIX. La revolución industrial se difundió entonces por la Europa continental y por América del Norte, mientras los índices de innovación se reducían en Gran Bretaña. Fuera del núcleo de la industrialización, los efectos de las primeras etapas de la revolución moderna fueron básicamente destructivos. A finales del siglo XIX, las diferencias de riqueza entre las distintas áreas del mundo fueron por primera vez tan grandes como las diferencias dentro de las naciones, y las estructuras tradicionales que habían funcionado durante milenios se vinieron abajo, arrastrando consigo a quienes aún dependían de ellas para sobrevivir.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

La literatura sobre la revolución industrial es muy abundante. Entre los estudios clásicos que todavía tienen valor, aunque algunos detalles hayan quedado anticuados, hay que citar *Industria e imperio* (1969) de E. J. Hobsbawm y *Progreso tecnológico y revolución industrial* (1969) de David Landes. Más recientes son *La era de las manufacturas, 1700-1820* (1994²) de Maxine Berg; *The Industrial Revolution* (1992) de Pat Hudson; y *Cambio, continuidad y azar* (1988) de E. A. Wrigley. *British Economic Growth* (1985) de N. R. F. Crafts es un repaso econométrico. *Scientific Culture and the Making of Industrial West* (1997) de Margaret Jacob es un estudio clásico sobre la relación entre la industrialización y la aparición de la ciencia. Un buen repaso reciente de la industrialización a escalas globales es *The Industrial Revolution in World History* (1993) de Peter Stearns. Patrick O'Brien y Caglar

Keyder comparan dos vías a la modernidad en *Economic Growth in Britain and France, 1780-1914* (1978). Kenneth Pomeranz, *The Great Divergence* (2000), R. Bin Wong, *China Transformed* (1997), y André Gunder Frank, *ReOrient* (1998), han propuesto que China estuvo en muchos aspectos tan cerca de la industrialización como Europa occidental, todavía a finales del siglo XVIII. Joel Mokyr, *La palanca de la riqueza* (1990), y James McClellan III y Harold Dorn, *Science and Technology in World History* (1999), analizan los avances tecnológicos. Charles Tilly, *Coerción, capital y los estados europeos: 990-1992* (1992, edición revisada), es interesante cuando habla de los cambios políticos relacionados con la revolución industrial. Peter Mathias y John Davis, eds., *The First Industrial Revolution* (1989), es una colección de ensayos sobre la industrialización europea. *Late Victorian Holocausts* (2001) de Mike Davis hace una descripción impresionante del impacto destructivo de la revolución moderna fuera del centro industrial. *The Birth of the Modern World* (2003) de Chris Bayley es una elegante historia global del «largo» siglo XIX que hace hincapié en las relaciones entre la guerra y la construcción del estado.

Capítulo 14

LA GRAN ACELERACIÓN DEL SIGLO XX

Si tuviera que resumir el siglo xx, diría que despertó las mayores esperanzas que ha concebido la humanidad y destruyó todas las ilusiones e ideales.

YEHUDI MENUHIN

LA ACELERACIÓN

Tenemos tan cerca el siglo xx que probablemente creemos que lo conocemos. Pero en algunos aspectos es más difícil de entender que las demás épocas repasadas en este libro. El siglo xx, entre todos los períodos de la historia humana, podría ser el más difícil de percibir en la amplia perspectiva de la gran historia. Desconocemos lo que habrá dentro de unos siglos. Según dice Eric Hobsbawm en *Historia del siglo xx: 1914-1991* (1994), una historia soberbia del «breve» siglo xx, sus rasgos más destacados son las guerras mundiales de la primera mitad del siglo, la Gran Depresión, la experiencia comunista, la descolonización y, sobre todo, el largo período de prosperidad que siguió a la segunda guerra mundial. Pero a la escala de la gran historia destacan otros rasgos. Los más asombrosos son los que se refieren a los cambios acaecidos en las relaciones entre los humanos y la biosfera. En una reciente historia ecológica del siglo, John McNeill ha sostenido que «la raza humana, sin proponérselo siquiera, ha sometido a la tierra a un gigantesco experimento incontrolado. Creo que con el tiempo acabará considerándose el aspecto más importante de la historia del siglo xx, más que la segunda guerra mundial, la aventura comunista, el auge de la educación de masas, la difusión de la democracia y la reciente emancipación de las mujeres^[1]».

El presente capítulo se centrará en la brusca aceleración experimentada por el ritmo y la escala del cambio en el siglo xx. El alcance total de la revolución moderna no empezó a manifestarse hasta este siglo. El cambio se aceleró tanto y fueron tan universales sus ramificaciones que en realidad estamos en una etapa radicalmente nueva de la historia humana y de la historia de las relaciones de los humanos con otras especies y con la Tierra. No sería exagerado decir que el siglo xx inaugura un momento decisivo en la historia de la biosfera.

A escala cosmológica, los cambios se producen fundamentalmente en el majestuoso discurrir de millones e incluso miles de millones de años. En el reino de la biología, donde el ritmo viene dado por la selección natural, las alteraciones

trascendentes se producen a escalas que oscilan entre varios milenios y varios millones de años. En la historia humana, determinada de manera creciente por el cambio cultural, el ritmo es más rápido. Los cambios importantes del Paleolítico tardaron en producirse muchos milenios. Las sociedades agrarias, con un dinamismo demográfico mayor, redujeron la escala, y la historia total de las sociedades agrarias cupo en un período de sólo diez mil años, mientras que la de las civilizaciones agrarias no duró más que la mitad. El extraordinario dinamismo de la revolución moderna ha acelerado otra vez el paso del cambio histórico global. Es como si el tiempo se hubiera comprimido en el siglo xx.

Nuestro sentido del espacio ha sufrido asimismo una revolución a causa de las modernas formas de transporte y comunicaciones, desde los viajes aéreos hasta Internet. No es sólo que los telescopios lleguen casi al límite del universo y al comienzo del tiempo. La información y el dinero pueden desplazarse alrededor del globo de manera prácticamente instantánea y las personas pueden viajar casi con la misma rapidez. El aprendizaje colectivo abarca hoy todo el planeta, pero su escala temporal es la de una conversación privada. Robert Wright señala: «La intermitente pero incesante tendencia de los invisibles cerebros sociales a conectarse entre sí y a sumergirse por último en un cerebro mayor es un tema capital de la historia. La culminación de este proceso —la construcción de un único cerebro planetario— es lo que estamos presenciando actualmente, con todos sus efectos desorganizadores pero en última instancia integradores^[2]». El espacio se ha contraído tan rápidamente como el tiempo. El epidemiólogo D. J. Bradley ha demostrado con brillantez lo que significan estos cambios para la experiencia vital de los individuos comparando los viajes y desplazamientos efectuados en el curso de toda una vida por cuatro generaciones de varones de su propia familia. Los viajes efectuados por su bisabuelo cabían en un cuadrado de 40 kilómetros de lado. La longitud del lado del cuadrado se multiplicó aproximadamente por diez durante las tres generaciones siguientes. Los viajes del abuelo cabían en un cuadrado de unos 400 kilómetros de lado, mientras que el lado del cuadrado del padre media como mínimo 4000 kilómetros, y en cuanto a Bradley, ha dado la vuelta al mundo^[3].

El ensayista Walter Benjamin presentó en 1940 una siniestra imagen de los cambios vertiginosos experimentados por las sociedades humanas en el siglo xx:

Hay un cuadro de Klee que se titula *Angelus novus*. Se ve en él a un ángel al parecer en el momento de alejarse de algo que mira fijamente. Tiene los ojos desorbitados, la boca abierta y las alas extendidas. El ángel de la historia debe de tener ese aspecto. Su cara está vuelta hacia el pasado. Lo que para nosotros es una cadena de acontecimientos para él es una catástrofe única que arroja a sus pies una incesante acumulación de ruinas. El ángel quisiera detenerse, despertar a los muertos y recomponer lo despedazado. Pero una tormenta desciende del Paraíso y se arremolina en sus alas, y es tan fuerte que el ángel no puede plegarlas. Esta tempestad le empuja irresistiblemente hacia el futuro, al que vuelve la espalda, mientras el cúmulo de ruinas sube ante él hacia el cielo. Esta tempestad es lo que llamamos progreso^[4].

Como ha dicho Eric Hobsbawm, este cambio vertiginoso ha disuelto hasta tal punto los vínculos con el pasado que ha transformado nuestra concepción de la historia^[5].

A diversas escalas ha habido más cambios en el siglo xx que en toda la historia humana anterior. Que este capítulo abarque sólo un siglo y el dedicado a la era de las civilizaciones agrarias (el capítulo 10) abarque cuatro milenios da una idea aproximada de las transformaciones orquestadas por la sociedad moderna.

Para describir estos cambios, la lógica requiere, una vez más, que empecemos por el crecimiento de la población, porque al margen del impacto producido por otros factores, como las nuevas tecnologías y las nuevas formas de organización social, todo aumento de la población plantea inevitablemente nuevas demandas a los recursos de la Tierra (véase la tabla 14.1^[6]). En 1900, la población mundial era de unos 1600 millones. Cien años después se había cuadruplicado y estaba en unos 6000 millones. Los humanos tardaron 100 000 años en ser mil millones y sólo cien en añadir cinco mil millones. El tiempo de reproducción de la población humana pasó a ser de ochenta años en la primera mitad del siglo xx y de cuarenta en la segunda.

LOS CAMBIOS EN LA SOCIEDAD HUMANA

Las olas de innovación del siglo xx

El agente primario de la transformación fue la aceleración del cambio tecnológico. Fue éste el que en primer lugar posibilitó el mantenimiento de una población tan elevada. En el siglo XVIII había ya una agricultura totalmente comercializada en Europa noroccidental, pero el aumento significativo de la productividad agrícola se había dado en el siglo XIX. Entre 1900 y 2000, la productividad de las tierras cultivadas de todo el mundo se multiplicó por tres, mientras que el total de cereales cosechado se multiplicó por cinco, pasando de 400 millones de toneladas a casi 2000 millones^[7]. La producción agrícola aumentó más aprisa que la población. El aumento de la producción de alimentos dependía hasta cierto punto del aumento de la aplicación de una tecnología antigua, el riego, y del intercambio ininterrumpido de cultivos como el maíz y la soja entre distintas partes del mundo. Pero también fueron fundamentales las nuevas técnicas. Adquirieron especial relevancia el uso de fertilizantes artificiales y la producción sistemática de nuevas semillas, las más importantes de las cuales han sido variedades de cereales de alto rendimiento y granos híbridos.

Fuera de la agricultura, los cambios tecnológicos más importantes del siglo xx llegaron en oleadas cuyo impacto y tamaño empequeñeció los del XIX^[8]. La cuarta ola de innovaciones empezó a finales del siglo XIX y duró casi hasta mediados del

siguiente. El motor de combustión interna, instalado en coches, en camiones, en tanques o en aviones, fue la tecnología capital, y el petróleo fue la fuente de energía decisiva, aunque también tuvieron importancia otros combustibles fósiles, como el carbón y el gas natural. En esta fase, una serie de grandes empresas polidivisionales, con base en los países más industrializados, empezaron a romper las barreras del marco nacional en que habían surgido convirtiéndose en empresas multinacionales, que operaban en varios países^[9]. La aparición de las empresas multinacionales fue un indicador del creciente predominio de los países más industrializados. La expansión geográfica de la industrialización se redujo en este período y la capacidad productiva de las regiones que ya habían empezado a industrializarse subió vertiginosamente, adelantando al resto del mundo. Las estimaciones de Paul Bairoch (véanse las tablas 13.1 y 13.2) indican que la producción industrial absoluta y relativa de las regiones situadas lejos del centro industrial estuvo bajando durante casi un siglo, desde mediados del siglo XIX hasta mediados del XX.

TABLA 14.1. POBLACIÓN MUNDIAL, 1900-2000.

<i>Año</i>	<i>Población (millones)</i>
1900	1.634
1910	1.746
1920	1.857
1930	2.036
1940	2.267
1950	2.515
1960	3.019
1970	3.698
1980	4.450
1990	5.292
2000	6.100

FUENTES: Massimo Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, Blackwell, Oxford, 1992, trad. inglesa, p. 147; se ha añadido el valor de 1970; el de 2000 procede de Lester R. Brown, *Eco-Economy: Building an Economy for the Earth*, W. W. Norton, Nueva York, 2001, p. 212.

La quinta ola de innovaciones, que apareció al finalizar la segunda guerra mundial, estuvo dominada por la energía atómica y la electrónica. La electrónica elevó la eficacia de muchas otras tecnologías. Pero como además reducía milagrosamente el coste de usar, adquirir y procesar información, aceleró el ritmo y la eficiencia del aprendizaje colectivo y permitió que éste se diera a escalas globales y no sólo locales. Durante esta ola se produjo un aumento brusco de la producción industrial en muchas regiones poco afectadas por las olas anteriores, como América Latina, Asia oriental y el suroeste asiático. Y fue testigo igualmente del aumento de la riqueza y la influencia de las empresas multinacionales. El crecimiento de la

posguerra pareció pisar el freno a finales de los años setenta y durante los ochenta, sobre todo en las regiones más industrializadas, que eran las dinámos de la economía del mundo.

El crecimiento volvió a acelerarse con la sexta ola de innovaciones. Esta ola sigue avanzando en la actualidad, a principios del siglo XXI. Sus tecnologías dominantes son electrónicas y genéticas, y su primer efecto notable ha sido aglutinar todos los sectores del mundo con una cohesión que no tiene precedentes. Manuel Castells sostiene que las dos últimas décadas del siglo XX representan la transición a una fase completamente diferente de la historia capitalista, que él llama «era de la información^[10]». En esta fase, según él, la clave del beneficio está en la circulación de la información; las fronteras entre las empresas individuales se están borrando, mientras la producción y los servicios se organizan con alianzas móviles o redes de empresas, muchas de las cuales ceden gran parte de su trabajo a compañías individuales o más pequeñas, a las que subcontratan. El control y movimiento de información ha pasado a ser quizás el sector más grande de la industria^[11]. La circulación global de la información y la riqueza es hoy tan rápida, y respeta tan poco las fronteras tradicionales, que ha difuminado las fronteras de los estados y no sólo las de las empresas. En 2000 había muchas empresas internacionales con un valor en el mercado tan elevado como el de muchos estados de primer orden y casi todas estas gigantescas empresas se dedican a las comunicaciones (véase la tabla 14.2).

Vistas en su conjunto, las olas quinta y sexta sostuvieron una escalada de la producción mucho mayor que la de finales del siglo XIX y principios del XX. Entre 1900 y 1950, la producción total de la economía global pasó de un poco más de 2000 billones de dólares a algo más de 5000 billones. En los cincuenta años siguientes se elevó a cerca de 39 000 billones. Estas cantidades indican que la producción global se multiplicó casi por veinte en el siglo XX. Se calcula que el crecimiento del trienio 1995-1998 fue superior al crecimiento total de los 10 000 años anteriores a 1900^[12].

La creación: el capitalismo consumista y las nuevas formas de vida

El lado positivo del cambio se ve en la impresionante riqueza de las regiones más industrializadas. En estas regiones hay amplias capas de la población con un nivel creciente de prosperidad material. Los críticos del capitalismo del siglo XIX entendieron su capacidad para generar pobreza, pero subestimaron su capacidad para engendrar riqueza material. Los que no apreciaban su potencial productivo (como Rosa Luxemburg) sostenían que el extraordinario dinamismo del capitalismo garantizaba su derrumbe. Cuanto más se produjera, más difícil sería encontrar compradores. Mientras que en casi todas las etapas anteriores de la humanidad había habido que enfrentarse al endémico problema de la escasez, el problema ahora era

organizar la abundancia. (Los marxistas lo llamaban el problema de la «realización» de beneficios). Sin embargo, desde finales del siglo XIX las economías capitalistas encontraron una solución tratando a sus propios trabajadores no sólo como si fueran carnaza de fábrica, sino también como si fueran mercados potenciales de las mismas mercancías que ellos producían en serie. Así como los virus suelen evolucionar para proteger a su anfitrión, el capitalismo (con un movimiento que Marx parece que no previó) aprendió a proteger e incluso a seducir a su propio proletariado, dentro de una forma de simbiosis nueva y menos desigual. Este movimiento es el que generó el capitalismo consumista del siglo XX. Su rasgo característico ha sido el requisito de que el grueso de la población debería consumir mercancías en cantidad creciente por el bien de todo el sistema. Para facilitar la existencia de un mercado de consumo masivo fue necesario elevar los salarios, publicitar agresivamente los productos y poner fin a la anticuada ética del ahorro y la conservación, que había sido un factor dominante en casi todas las comunidades de la mayor parte de la historia humana. Estos cambios empezaron en el siglo XIX, pero donde cristalizó la forma del capitalismo consumista moderno fue en Estados Unidos, en los años veinte de la siguiente centuria. Fue también en Estados Unidos donde aparecieron algunas de las primeras críticas contra el consumismo capitalista, y en la misma década, por ejemplo *Babbitt* (1922), la novela de Sinclair Lewis.

TABLA 14.2. ENTIDADES ECONÓMICAS ORDENADAS POR SU VALOR EN EL MERCADO. ENERO DE 2000.

<i>Orden</i>	<i>Unidad política</i>	<i>Empresa</i>	<i>Valor (millones \$)</i>
1	EE.UU.		15.013
2	Japón		4.244
3	RU		2.775
4	Francia		1.304
5	Alemania		1.229
6	Canadá		695
7	Suiza		662
8	Holanda		618
9	Italia		610
10		Microsoft (EE.UU.)	546
11	Hong Kong		536
12		General Electric (EE.UU.)	498
13	Australia		424
14	España		390
15		Cisco Systems (EE.UU.)	355
16	Taiwan		339
17	Suecia		318
18		Intel (EE.UU.)	305
19		Exxon-Mobil (EE.UU.)	295
20		Wal-Mart (EE.UU.)	289
21	Corea del Sur		285
22	Finlandia		276
23		Nippon JT (Japón)	274
24		AOL Time Warner (EE.UU.)	289
25	Suráfrica		232
26		Nokia (Finlandia)	218
27	Grecia		217
28		Deutsche Telekom (Alemania)	218
29		IBM (EE.UU.)	213
30	Brasil		194

FUENTE: *Sydney Morning Herald*, 15 de enero de 2000.

Como es lógico, los gobiernos se sienten más cómodos enfrentándose al excedente que la escasez, que había sido el principal problema de casi todos los estados anteriores. El hiperproductivo sistema socioeconómico del capitalismo moderno podía disipar la hostilidad de las clases subordinadas ofreciéndoles niveles de vida que habrían satisfecho a muchos monarcas de los primeros tiempos históricos. El capitalismo consumista transformó así los problemas políticos tradicionales, permitiendo a los grupos dominantes modernos la adquisición de lealtades mediante la donación de regalos a escala masiva. Por encima de cualquier otro factor, este cambio explica la supervivencia de sociedades capitalistas liberales

en casi todas las regiones industrializadas del mundo, así como su capacidad de resistencia.

El capitalismo consumista ha transformado los ritmos del cambio histórico. El mundo agrícola estaba regido por ciclos malthusianos, ya que el crecimiento demográfico superaba periódicamente la capacidad de producción. Durante la crisis económica de la década de 1870 se puso de manifiesto por primera vez que el desarrollo económico podía estancarse tanto por culpa de la superproducción como de la subproducción. Los fabricantes de sectores con productividad en rápido crecimiento vieron que los mercados eran demasiado pequeños para absorber lo que podían producir entonces. Durante las décadas que siguieron se hizo patente que, en un mundo con una productividad en crecimiento continuo, el problema de encontrar (o crear) mercados determinaba los ritmos de la actividad económica tanto como la insuficiencia de la productividad había determinado los de la era agraria. En consecuencia, la era moderna está dominada por ciclos de actividad de periodicidad variable (por lo general de creciente brevedad), que llamamos *ciclos económicos*. Para afrontar estos ciclos ha habido que promover comportamientos radicalmente nuevos entre los empresarios, los gobiernos y los consumidores de casi todos los países industrializados. Al principio, muchos gobiernos y empresarios reaccionaron ante los elevados niveles de productividad pidiendo protección para sus mercados y creando mercados protegidos en regiones coloniales. Resultó una estrategia suicida, ya que no sólo producía conflictos militares intolerables, sino también la división de los gigantescos mercados mundiales que habían nutrido gran parte del desarrollo industrial del siglo XIX. John Maynard Keynes y otros se dieron cuenta de que, a largo plazo, soslayar las crisis cíclicas significa mantener y sostener los mercados y no monopolizarlos. Así pues, una de las principales preocupaciones del capitalismo consumista del siglo XX fue crear y ampliar mercados. Este cambio nos ayuda a entender la revolución ética que ha hecho del consumo una virtud tan fundamental como lo había sido la abstinencia en el mundo precapitalista. Y explica la aparición de esa nueva y poderosa casta sacerdotal de anunciantes cuya incesante defensa del consumo vemos sobre todo en televisión.

Los beneficiarios de estos cambios disfrutaron de niveles de prosperidad material sin precedentes y de formas de libertad desconocidas hasta entonces. En los países más ricos, los progresos de la medicina mejoraron la salud y eliminaron muchas causas de sufrimiento físico, antaño inevitables. En realidad, las formas de vida han cambiado tanto que podrían estar influyendo evolutivamente en el cuerpo humano. Ciertos estudios realizados en Estados Unidos indican que los ciudadanos de finales del siglo XX no sólo eran más altos que los del siglo anterior, sino que además tenían menos dureza esquelética. La mejora de la alimentación y de la atención médica, en combinación con modos de vida más regalados, podría estar ejerciendo en la especie una presión evolutiva mucho mayor de lo que se pensaba^[13].

Las relaciones personales también se han modificado. Aunque los niveles de violencia interpersonal siguen siendo elevados, las modernas sociedades democráticas reproban estas conductas; la mayoría de las personas está más a salvo de la violencia de lo que habría estado en las sociedades exactoras tradicionales, en las que la coacción física era una forma de dominio más aceptable. Las estructuras políticas de los estados democráticos, a pesar de sus muchos defectos, dan a los ciudadanos un nivel de protección jurídica sin precedentes. Y el control sobre la información que sostenía los privilegios de las minorías dominantes se ha relajado gracias al avance de la educación de masas. Muy notable ha sido la lenta descomposición de los roles de género tradicionales que limitaban las oportunidades de las mujeres. La difusión de los métodos anticonceptivos y la creación de nuevos empleos que no exigen fuerza física han favorecido el acceso de las mujeres a muchos trabajos especializados y ajenos a la casa familiar que los hombres habían monopolizado en las sociedades tradicionales. La consecuencia es que, aunque el salario femenino y los niveles de empleo siguen estando por detrás de los masculinos en casi todos los sectores de la mayoría de las economías industrializadas, la tendencia a largo plazo en los países más desarrollados se ha caracterizado por un aumento importante en los niveles educativos y en las oportunidades laborales. En 1990 había tantas mujeres como hombres en las instituciones de enseñanza secundaria y superior de los países industrializados, y había casi 80 mujeres con empleo remunerado por cada 100 hombres. En comparación, en el mundo en general había unas 80 mujeres en enseñanza secundaria y 65 en la superior por cada 100 hombres, y sólo 60 mujeres con empleo remunerado por cada 100 hombres^[14].

Las inmensas ventajas de que gozaban en el siglo xx los ciudadanos de los países más ricos ejemplifican la asombrosa creatividad de la revolución moderna. Y esa creatividad alimenta la tentadora promesa de que habrá un futuro mejor para los humanos en todas partes.

Las contradicciones del capitalismo: desigualdad y pobreza

Sin embargo, a pesar de los notables cambios positivos que se vieron en el siglo xx, el impacto de la revolución moderna fue mucho menos benigno en muchos aspectos y para muchas personas. En principio, el aumento de la productividad de las sociedades modernas ofrecía la posibilidad de construir sociedades en las que todos los sectores estuvieran libres de la opresión de la pobreza material. Tal fue la grandiosa promesa del socialismo. Pero casi todos los socialistas se dieron cuenta de que, aunque el capitalismo creaba los requisitos materiales de una sociedad así, sus estructuras básicas generaban desigualdad. El dinamismo productivo, que parecía ser la mayor virtud del capitalismo, estaba impulsado por un reparto desigual del control sobre los medios de producción. El capitalismo, al parecer, necesitaba grandes

diferencias en el reparto de la riqueza para sobrevivir y prosperar. Marx sostenía que el sistema no funcionaría sin una combinación idónea de propietarios y no propietarios de los medios de producción. Y parece que llegó a la conclusión de que mientras hubiera capitalismo, aumentaría la desigualdad. Los socialistas entendieron que había que destruir el capitalismo si se quería construir una sociedad en la que todos los sectores de la población pudieran disponer de los beneficios de la alta productividad. Pero ¿conseguiría una sociedad socialista igualar los elevados niveles de productividad del capitalismo? ¿Serían capaces las sociedades más igualitarias de alcanzar la elevada productividad del capitalismo, productividad en la que se basaban en última instancia las esperanzas socialistas de un mundo libre de pobreza material? El siglo xx aportó algunas respuestas a estos angustiosos interrogantes.

Los acontecimientos del siglo xx confirmaron gran parte de la crítica socialista del capitalismo. Las mismas fuerzas que generaban la extraordinaria abundancia material aumentaban al mismo tiempo las desigualdades globales entre los ciudadanos de las naciones y entre las naciones. La riqueza se acumulaba sin cesar en depósitos gigantescos que contrastaban con los valles de pobreza que había entre ellos. El capitalismo ha demostrado su capacidad para generar riqueza material en abundancia; pero hasta el momento no ha sido capaz de distribuir la riqueza global de manera equitativa, humana y sostenible.

Aunque nuestros resultados, a la hora de medir estas desigualdades, son toscos y aproximativos, permiten ver con claridad algunas tendencias. Las estimaciones de los ingresos globales per cápita sugieren que este indicador pasó de 1500 dólares en 1900 a 6600 en 1998. Durante este mismo período, la esperanza global de vida, uno de los indicadores más decisivos de la calidad de vida, ha pasado de 35 años a 66^[15]. Son mejoras importantes, aunque están repartidas de manera desigual, como muestran las tablas 14.3 y 14.4. Mientras que la renta per cápita de Estados Unidos era de unos 34 100 dólares en 2000 (y de unos 27 680 dólares la media de los países con ingresos más elevados), la de Brasil era de unos 3580, la de China (una superpotencia económica hace sólo dos siglos) de unos 840 y las de la India (otro antiguo gigante económico) y Burkina Faso de 450 y 210 respectivamente. Las proporciones acentúan el efecto de desigualdad (véase la tabla 14.3). Estas cifras nos dicen que la renta per cápita de Burkina Faso no era ni el 1 por 100 de la media de los países con mayores ingresos, mientras que las cifras de la India y de toda el África subsahariana eran poco más del 1,5 por 100 de la media. Las cifras de las estadísticas de la esperanza de vida arrojan una diferencia menos dramática, ya que el conocimiento médico moderno ha elevado la esperanza en todo el mundo. Sin embargo, las estadísticas nos cuentan que la vida se acorta a causa de la pobreza relativa (véase la tabla 14.4).

En las últimas décadas del siglo xx parece haberse ensanchado el desfase económico. En 1960, el 20 por 100 más rico de la población mundial ingresaba alrededor de 30 veces la renta del 20 por 100 más pobre; en 1991, el multiplicador

había subido a 61^[16]. Las condiciones se han deteriorado sobre todo en América del Sur y en el África subsahariana. A comienzos de la década de 1970, África era autosuficiente en lo que se refiere a producción de alimentos e incluso exportaba excedentes. Impresiona, pues, averiguar que en 1990-2000 el PIB total del África subsahariana (sin contar Suráfrica), con una población de 450 millones de habitantes, fue inferior al de Bélgica, que tiene sólo 11 millones^[17].

Estas estadísticas nos recuerdan que la modernidad ha empeorado las condiciones de vida de millones de personas. En los países más ricos ha conseguido mantenerse por debajo del 1 por 100 el número de adultos con sida porque tienen recursos sanitarios y educativos para tomar las medidas preventivas oportunas. Por el contrario, en Zimbabwe tenía el sida el 26 por 100 de los adultos alrededor de 1995, y había niveles casi igual de elevados en Botswana, Namibia, Suazilandia y Zambia^[18]. La escasez de alimentos es otro escandaloso exponente de la desigualdad. El hambre es sólo su forma más extrema; por lo general escasez significa vivir entre los sufrimientos de la desnutrición crónica. Como ha dicho Paul Harrison: «La realidad cotidiana de la desnutrición en el tercer mundo es [...] adultos que se consumen, agotados física y mentalmente, y a merced de las enfermedades. Y son los niños, que suelen morirse, aunque no tanto sólo de hambre cuanto de hambre y trabajando en un clima de enfermedad; aunque muchos sobreviven afectados de por vida^[19]». A finales de la década de 1990 se calculaba que sufrían desnutrición más de 800 millones de personas (alrededor del 14 por 100 de la población mundial), mientras que 1200 millones (cerca del 20 por 100) no disponían de agua limpia y potable^[20]. La tabla 14.5 muestra un resumen de las estadísticas demográficas y económicas de 1994.

TABLA 14.3. RENTA PER CÁPITA, 2000

<i>País o región</i>	<i>Renta (dólares)</i>
Mundo	5.170
Estados Unidos	34.100
Media de países con mayores ingresos	27.680
Burkina Faso	210
África subsahariana	470
India	450
China	840
Brasil	3.580
América Latina e islas del Caribe	3.670

FUENTE: *World Development Indicators*, Banco Mundial, Washington D. C., 2002, tabla 1.1, «Size of Economy», pp. 18-20.

TABLA 14.4. ESPERANZA DE VIDA AL NACER, 2000

País o región	Esperanza de vida en años	
	Hombres	Mujeres
Mundo	65	69
Estados Unidos	74	80
Media de países con mayores ingresos	75	81
Burkina Faso	44	45
África subsahariana	46	47
India	62	63
China	69	72
Brasil	64	72
América Latina e islas del Caribe	67	74

FUENTE: *World Development Indicators*, Banco Mundial, Washington D. C., 2002, tabla 1.5, «Women in Development», pp. 32-34.

La destrucción de las formas de vida tradicionales

Las cifras que hemos visto en las tablas anteriores reflejan algo más que un atraso en relación con los países más ricos. También nos hablan de la destrucción de las formas de vida tradicionales y de las redes de seguridad interiorizadas en las tradiciones locales de caridad o en las instituciones locales especializadas, como los graneros de emergencia. La caída de la producción en los países que no se industrializaron antes de mediados del siglo xx se aprecia en las cifras de la tabla 13.2, y la caída de la producción deshilachó todas las redes de seguridad tradicionales. La suerte de los campesinos ingleses del siglo XVIII a raíz de los cercamientos se repite hoy conforme la presión demográfica, o la deuda, o los impuestos, o la guerra socava la vida rural establecida. Las estadísticas del desarrollo urbano son un indicador indirecto de este cambio. En 1800, el 97 por 100 de la población mundial vivía en centros de menos de 20 000 habitantes. A mediados del siglo xx, el porcentaje había descendido aproximadamente al 75 por 100 y en 1980 a alrededor del 60 por 100. En 2000, por primera vez en la historia humana, había tanta población en ciudades de más de 20 000 habitantes como en comunidades menores^[21]. En 1800, Gran Bretaña y Bélgica eran los únicos países del mundo con menos del 20 por 100 de la población empleada en la agricultura y el sector pesquero. La agricultura campesina es hoy la forma de vida dominante en tres grandes regiones solamente —el África subsahariana, el sureste y el sur de Asia y China—, aunque los campesinos apenas pueden sobrevivir en muchas de sus comunidades. Eric Hobsbawm sostiene que «el cambio social más espectacular y de mayor alcance de la

segunda mitad del presente siglo, y el que ha cortado definitivamente nuestros lazos con el pasado, es la desaparición del campesinado^[22]».

Las estadísticas son una forma benevolente de describir estos cambios; la descripción que sigue refleja lo que pudo significar para las familias y los individuos. Procede del informe de Paul Harrison sobre una entrevista que sostuvo en los años ochenta con el jefe de una unidad familiar de Burkina Faso, el país africano llamado hasta entonces Alto Volta y que queda al norte de Costa de Marfil, Gana y Togo. Como en gran parte del Sahel, la agricultura de Burkina Faso se reducía básicamente al cultivo de rozas. Los habitantes de la zona preparaban la tierra no cultivada durante décadas cortando la vegetación y prendiéndole fuego. Las semillas se plantaban entre las cenizas del suelo: panizo y sorgo para comer, algodón o cacahuetes para vender. La fertilidad era muy elevada durante un par de años y luego decrecía rápidamente, motivo por el que las comunidades tenían que desplazarse y preparar otro terreno. Estos métodos pueden alimentar a una población muy pequeña, por razones obvias: en un momento dado, casi toda la tierra estará en barbecho. Pero la presión demográfica de los últimos años obligó a los agricultores a acelerar el ciclo y a reaprovechar terrenos antes de que recuperasen la fertilidad. Al final, la sobreexplotación amenazó con destruir para siempre el mismo suelo.

TABLA 14.5. DATOS DEMOGRÁFICOS Y ECONÓMICOS GLOBALES, 1994

Región	Población (millones)	Crecimiento natural (% anual)	Tasa de natalidad por 1.000	Tasa de mortalidad por 1.000	Esperanza de vida (al nacer)	PIB per cápita (dólares de 1992)
Mundo	5.607	1,6	25	9	65	4.340
Más desarrollada*	1.164	0,3	12	10	75	16.610
Menos desarrollada	4.443	1,9	28	9	63	950
África	700	2,9	42	13	55	650
Asia	3.392	1,7	25	8	64	1.820
América Latina y Caribe	470	2,0	27	7	68	2.710
Europa	728	0,1	12	11	73	11.990
América del Norte	290	0,7	16	9	76	22.840
Oceanía	28	1,2	20	8	73	13.040

FUENTES: Allan Findlay, «Population Crises: The Malthusian Specter?», en R. J. Johnston, Peter J. Taylor y Michael J. Watts, eds., *Geographies of Global Change: Remapping the World in the Late Twentieth Century*, Blackwell, Oxford, 1995, p. 156, basado en 1994 *World Population Data Sheet*, compilado por el Population Reference Bureau, Washington D. C.

* Según la convención de la ONU vigente entonces: América del Norte, Europa (comprendida Rusia), Australia, Japón y Nueva Zelanda.

Paul Harrison conoció y entrevistó a un agricultor de sesenta años, llamado Moumouni, que había vivido diferentes etapas de la crisis galopante que ha acabado por destruir gran parte de la tierra cultivable tradicional de la frontera meridional del Sahara.

Moumouni recordaba que, cuando era pequeño, sólo había doce personas en el complejo de su padre. Ahora había treinta y cuatro, contando a cinco muchachos que trabajaban en Costa de Marfil. El jefe de la aldea asigna la tierra basándose en un principio: a cada cual, según sus necesidades. [...] Sin embargo, las tierras tradicionales de la aldea no se habían ampliado en absoluto. [...] La tierra de más que se necesitaba se había tomado de los cinco sextos que solían dejarse en barbecho. Con el paso de las décadas, el tiempo de barbecho se había ido recortando lentamente, hasta que fue sólo de cuatro o cinco años, cuando para restaurar la agotada fertilidad del suelo se necesitaban por lo menos doce.

Moumouni enseñó su tierra a Harrison.

Incluso dentro del complejo, el suelo parecía estéril, pedregoso y polvoriento, sin el menor rastro de mantillo. Y era el único terreno que abonaban, con los excrementos de un asno y un par de cabras. Más allá de un círculo de veinticinco metros de radio, trazado alrededor de las casas, la tierra era de color rojo oscuro y estaba quemada. Se había cultivado el año anterior, pero había dado muy poco. Según Moumouni, allí no iba a crecer nada aquel año^[23].

La repercusión de estos problemas puede verse a escala nacional. Un informe del Banco Mundial estima que el coste de «las pérdidas en cultivos, ganado y leña a causa de la degradación de la tierra» en Burkina Faso, en 1988, fue casi el 8,8 por 100 del producto interior bruto del país^[24].

La vida de los cazadores-recolectores tradicionales ha sufrido una agresión no menos violenta en el siglo xx. Pero el cambio que han experimentado no es completo, por extraño que parezca y a pesar de la colosal disparidad en escala y recursos que hay entre las comunidades cazadoras-recolectoras y los estados capitalistas modernos. En realidad, podría ser la disparidad lo que explicase la notable capacidad de muchas de estas comunidades para conservar parte de su pasado. Allí donde se han necesitado sus tierras para fines urbanísticos o mineros, han sido expulsados con brusquedad y sin ceremonias; pero, en caso contrario, se les ha dejado en paz con frecuencia. Sus choques armados con las sociedades modernas han adoptado por lo general la forma de guerra de guerrillas o de confrontación militar a pequeña escala. Los conflictos eran muy reales y a veces los estados se involucraban directamente, como en el caso de las guerras indias de Estados Unidos o en el de los múltiples enfrentamientos guerrilleros con comunidades organizadas por parentesco, desde Australia hasta Siberia. Pero cuando cesaban las hostilidades, las comunidades organizadas por parentesco solían encontrar nichos en las sociedades que tanto les habían arrebatado. Así que en cierto modo han sobrevivido hasta la actualidad y han conservado más parte de su pasado de la que pudieron conservar del suyo las comunidades campesinas del mundo agrícola. Y el mundo moderno tiene mucho que aprender de las comunidades cuyo estilo de vida ha durado tanto, más que el del capitalismo industrial.

La destrucción de los imperios exactores tradicionales

El capitalismo moderno ha acabado también con las grandes estructuras políticas de la era de las civilizaciones agrarias. Los grandes imperios exactores que presidieron la era de las civilizaciones agrarias se desvanecieron con una notable rapidez. Cuando Jorge III envió a China al embajador George Macartney para pedir igualdad de representación diplomática y derechos comerciales, K'ien-long, el emperador Ts'ing, respondió que no, alegando que Inglaterra era «una región remota e inaccesible que estaba al otro lado de los océanos». Sin embargo, el emperador felicitó a Jorge III por su «lealtad y sumisión» y por haberle enviado aquella «misión de homenaje», y le animó a ser obediente en el futuro «para que sigáis disfrutando de las ventajas de la paz perpetua^[25]». Un siglo después, los europeos harían gala de una arrogancia parecida ante el resto del mundo. En aquel momento era totalmente realista; a fin de cuentas, Europa producía poco que China no pudiera producir mejor y más barato, así que los europeos tenían que adquirir multitud de productos chinos a cambio de plata.

Pero los comerciantes británicos no tardaron en encontrar otra cosa que deseaban los consumidores chinos: el opio de producción indostánica, cuyo consumo se había prohibido en China. Al principio, los comerciantes británicos traficaron ilegalmente, pero en 1840-50, en las llamadas guerras del opio, apoyados por buques de guerra, obligaron al gobierno chino a que legalizara la compraventa de la nueva aunque perjudicial mercancía. En 1939, el funcionario chino de Cantón obligó a los buques británicos a entregar el opio y lo destruyó. Lin Zexu, funcionario chino, escribió a la reina Victoria en estos términos: «Nos han contado que en vuestro honorable país no se permite a nadie inhalar la droga. Si se considera tan perjudicial, ¿cómo se concilia con las leyes del Cielo la obtención de beneficios exponiendo a otros a su maléfico efecto?»^[26]. Alegando que el verdadero conflicto era la libertad de comercio y no el opio, lord Palmerston, primer ministro de Inglaterra, envió una flota que bloqueó Cantón y se enfrentó a los buques chinos. Los británicos atacaron otros puertos durante los dos años siguientes. Al final se apoderaron de las ciudades del Yangtsé, que abastecían a Pekín por el Gran Canal, obligando a los chinos a retirarse en 1842. La tecnología naval y militar china, que había cambiado poco desde los tiempos de Marco Polo, estaba en inferioridad de condiciones ante el poderío británico. El abismo que había abierto la industrialización en cuanto a tecnología y productividad causó el hundimiento del imperio chino a principios del siglo xx. Hacia finales de siglo ya no quedaban estructuras políticas ni económicas que encajaran en el modelo de los «estados exactores» de Eric Wolf, aunque estos estados habían dominado el mundo hacía sólo doscientos años.

Aunque un rasgo fundamental de los dos últimos siglos ha sido la velocidad a la que se han hundido los antiguos imperios exactores, hay otro que ha escapado a la atención general y es la cantidad de características del mundo exactor tradicional que ha sobrevivido en los grandes imperios comunistas del siglo xx^[27]. Los gobiernos comunistas que se instauraron primero en Rusia y luego en China estuvieron

dirigidos por movimientos revolucionarios modernizadores. Pero su ideología era tan anticapitalista como antiautocrática. Este detalle nos ayuda a entender la atracción que ejercieron en sociedades cuyas minorías intelectuales se resintieron vivamente de las agresiones del capitalismo contra su prestigio y cultura tradicionales. Que Stalin rechazara de plano el capitalismo durante la colectivización de los años treinta significó que la Unión Soviética iba a tener que competir con las principales potencias industriales sin contar con el dinamismo innovador del capitalismo. La dirección centralizada de los intercambios económicos e intelectuales reprimió las transacciones comerciales e intelectuales que son la savia del capitalismo, y la censura obstruyó las redes del aprendizaje colectivo que tantas innovaciones menores generaba en las economías de mercado. La China maoísta siguió un camino parecido desde 1949. Allí donde las fuerzas del mercado estaban prohibidas no hubo más remedio que movilizar recursos más tradicionales y utilizar técnicas tributarias y de organización socioeconómica parecidas a las de los grandes imperios exactores, pero con la ventaja añadida de contar con algunas tecnologías del siglo XX, desde el teléfono hasta los tanques. Al igual que los grandes imperios exactores, las economías dirigidas del mundo comunista eran más eficaces movilizando recursos que elevando la productividad. Cálculos recientes señalan que las mejoras en los niveles de eficacia dan para explicar a lo sumo el 24 por 100 y quizás sólo el 2 por 100 de los aumentos de la producción en la Unión Soviética durante los tres primeros planes quinquenales de Stalin. Casi todas las conquistas de la industrialización se basaron en una movilización masiva y coercitiva de capital, materias primas y mano de obra^[28]. En la determinación del gobierno soviético de igualar el poderío industrial y militar de los rivales capitalistas no se ahorraron recursos humanos ni materiales.

Durante un tiempo —sobre todo en los años treinta, cuando el mundo capitalista estaba en crisis, y luego en los años cincuenta—, dio la impresión de que estas nuevas estructuras dirigidas por el estado podían generar un dinamismo capaz de compararse con el del capitalismo. Lo que les faltaba en talante empresarial lo compensaban con un compromiso sistemático por alcanzar niveles de educación altos, con la introducción de tecnologías modernas y con la gigantesca capacidad organizativa de los estados poderosos e implacables para utilizar las modernas tecnologías de la comunicación. Pero su atonía innovadora, el mismo factor que había frenado las innovaciones durante toda la era de las civilizaciones agrarias, garantizaba que con el tiempo iban a quedar rezagadas en niveles de productividad, en innovación y, al final, en capacidad militar. Los hábitos derrochadores de la fase de construcción costaron mucho de erradicar y la economía soviética no consiguió cambiar del todo sus mecanismos de desarrollo y pasar de la explotación intensiva de los recursos a la economización de los mismos: al final, se quedó sin recursos. La Unión Soviética se vino abajo por su incapacidad para competir económica y tecnológicamente. Mijaíl

Gorbachov lo entendió perfectamente. La capacidad movilizadora no podía compensar a largo plazo la lentitud innovadora:

En cierto momento —y esto se vio con claridad en la segunda mitad de los años setenta— ocurrió algo que a simple vista parecía inexplicable. El país empezó a perder ímpetu. [...] Se formó una especie de «mecanismo de frenado» que afectaba al desarrollo social y económico. Y todo esto sucedió en un momento en que la revolución científica y tecnológica abría nuevas perspectivas al progreso económico y social. Algo extraño estaba sucediendo: el volante de la poderosa maquinaria estaba en movimiento, pero o la barra de transmisión patinaba y su impulso no llegaba a los centros de trabajo o las correas estaban flojas.

Al analizar la situación, descubrimos que el crecimiento económico se estaba reduciendo. En los últimos quince años, las tasas de crecimiento de la renta nacional habían bajado más de la mitad y a principios de los años ochenta estaban casi al nivel del estancamiento económico. Un país que antaño se había acercado rápidamente a las naciones avanzadas del mundo empezaba a perder posiciones. Además, empezaba a ensancharse el abismo que nos separaba en eficacia de la producción, en calidad de los productos, en desarrollo científico y tecnológico, en producción de tecnología avanzada y en el uso de técnicas avanzadas, y no para dejarnos en el mejor lugar^[29].

Los esfuerzos de Gorbachov por introducir un nuevo dinamismo, relajando el control de la economía y la sociedad, acabaron por destruir todo el sistema. En los años noventa, Rusia tuvo que ponerse a reconstruir el capitalismo, prácticamente desde cero.

China tuvo que enfrentarse a problemas parecidos, pero adoptó una solución diferente. Por debajo de la superficie, la China comunista se está volviendo una sociedad capitalista y está utilizando métodos que no estaban a disposición de los dirigentes soviéticos, porque en China no se eliminaron tan radicalmente como en la Unión Soviética las estructuras y los hábitos del capitalismo. Las experiencias de la era comunista nos sugieren que desguazar el capitalismo no aporta por fuerza una solución a los muchos problemas que crea el capitalismo. Las sociedades comunistas del siglo xx no pudieron igualar la productividad de sus rivales capitalistas; pero tampoco fueron tan igualitarias.

Los conflictos

No es extraño que un mundo tan inestable, con los niveles de desigualdad en crecimiento continuo, esté plagado de conflictos. En los últimos cien años se han producido más conflictos armados que en ningún otro siglo de la historia humana. La escala del daño humano y material causado por las guerras refleja el desarrollo de la «productividad» de los ejércitos y las armas de la era moderna, así como el creciente tamaño de los ejércitos y de las poblaciones en guerra. William Eckhardt calcula, de manera aproximativa, que entre 1 d. C. y 1500 murieron en conflictos armados 3,7 millones de personas. En el siglo XVI, 1,6 millones; en los siglos XVII y XVIII, 6,1 millones y 7 millones; y en el siglo XIX, 19,4 millones. En el siglo XX se alcanzó la cifra de 109,7 millones, que es casi el triple del total de bajas de los 1900 años anteriores (véase la tabla 14.6^[30]). Contando sólo la segunda guerra mundial, las

bajas llegaron a 53,5 millones. Igualmente espectacular fue la cantidad de bajas que pudo haber y no hubo en una guerra nuclear que por suerte (?) se evitó. Pero las guerras nucleares estaban en preparación. En 1986 había casi 70 000 cabezas nucleares, con una potencia explosiva total equivalente a 18 000 millones de toneladas de TNT, 3,6 toneladas por habitante del planeta^[31]. Si se hubieran utilizado, habrían causado una catástrofe parecida, por la escala y algunas consecuencias, a la extinción de finales del Cretácico, que destruyó casi todas las especies de dinosaurios grandes.

Las guerras menores han causado tantas víctimas como las mundiales y la guerra fría. Entre 1900 y 1985 hubo alrededor de 275 guerras^[32]. Entre 1945 y 2000 hubo nueve guerras regionales en las que murieron más de un millón de personas; en estas guerras, las bajas civiles superaban a las militares. En las guerras de Corea y Vietnam murieron el 10 y el 13 por 100, respectivamente, de la población local^[33]. Desde el final de la guerra fría ha habido cambios que podrían tener gran importancia a largo plazo. En los años noventa los gastos militares globales se recortaron en un 40 por 100 aproximadamente y se redujeron las existencias de toda clase de armas. (La «guerra contra el terrorismo» declarada a raíz de los atentados del 11 de septiembre de 2001 contra Nueva York y el Pentágono podría invertir esta tendencia). La guerra se ha vuelto más localizada y de manera creciente se ha producido en el interior de los estados o entre determinados estados y ejércitos guerrilleros, y este cambio supone una reducción de la escala (aunque no del horror de los que viven los conflictos^[34]). Estas cifras indican más una modificación de la naturaleza de la guerra que una reducción real del número de enfrentamientos. Las tensiones y perturbaciones del huracán de cambio que barre el planeta garantizan que seguirá habiendo conflictos y el armamento moderno se encargará de que los conflictos locales sigan causando grandes sufrimientos.

TABLA 14.6. MUERTES A CAUSA DE LA GUERRA, 1500-1999.

<i>Años</i>	<i>Muertes (millones)</i>	<i>Muertes por 1.000 personas</i>
1500-1599	1,6	3,2
1600-1699	6,1	11,2
1700-1799	7,0	9,7
1800-1899	19,4	16,2
1900-1999	109,7	44,4

FUENTES: Lester R. Brown *et al.*, *State of the World, 1999: A Worldwatch Institute Report on Progress towards a Sustainable Society*, Earthscan Publications, Londres, 1999, p. 153, que cita a William Eckhardt, «War-Related Deaths Since 3000 B. C.», *Bulletin of Peace Proposals* 22, n.º 4 (diciembre de 1991), y a Ruth Leger Sivard, *World Military and Social Expenditures* 1996, World Priorities, Washington D. C., 1996.

LOS CAMBIOS EN LA RELACIÓN DE LOS HUMANOS CON LA BIOSFERA

La escala de la sociedad humana en el siglo xx y el alcance de su capacidad productiva (y destructiva) se han encargado de que la revolución moderna cause en el medio planetario un impacto que ya no es sólo local, sino también global. Tal es la causa de que casi todos los indicadores del impacto ambiental de las poblaciones humanas «repitan la misma curva exponencial durante los últimos trescientos años^[35]».

Tenemos una evaluación aproximada de los impactos ambientales humanos en los esfuerzos por medir las cambiantes necesidades energéticas de las sociedades humanas (véase la tabla 6.1). Estas cifras ponen de manifiesto que el consumo total humano de energía se multiplicó en el siglo xx por un factor más elevado que en toda la historia humana anterior. Al final del siglo xx, la energía total consumida por los humanos era aproximadamente entre 60 000 y 90 000 veces la energía consumida a principios del Neolítico. A consecuencia de estos cambios, la sociedad humana pasó a ser en el siglo xx una importante fuerza de presión sobre la biosfera. Como ya hemos visto, se calcula que nuestra especie aprovecha entre el 25 y quizá el 40 por 100 de la «productividad primaria neta» de la tierra (véase la p. 140).

Dado que los recursos de la biosfera son limitados, el uso humano de energía, recursos y espacio a esta escala ha reducido inevitablemente los recursos disponibles para otras especies. La decadencia de la biodiversidad es una consecuencia ineludible. En colaboración con especies aclimatadas/domesticadas y compañeros de viaje como el conejo, la cabra y las malas hierbas, los humanos han reducido la biodiversidad destruyendo o apropiándose del hábitat de otras especies. En 1996 estaba en peligro de extinción alrededor del 26 por 100 de las especies de vertebrados^[36]. Como dice Richard Leakey, la escala de las extinciones modernas podría tener la magnitud de las cinco grandes extinciones que conocen los paleontólogos y en las que desapareció por lo menos el 65 por 100 de las especies marinas^[37].

¿Habrá recursos suficientes para sostener a nuestra especie a un nivel aceptable? ¿Costará mucho alimentar a 10 000 o 12 000 millones de personas dentro de un siglo? Cabe la posibilidad de que las nuevas tecnologías, basándose quizá en la ingeniería genética, permitan que la producción de alimentos siga aumentando al rápido ritmo que fue característico del siglo xx. En el ínterin hay buenas razones para creer que nos estamos acercando a un límite crítico. Nos alimentamos de las tierras de labor, de las tierras de pastos y del sector pesquero. El área de las tierras de pastos no puede ampliarse mucho más y gran parte de la tierra disponible está muy degradada. Se sabe además que el sector pesquero apenas puede producir más de lo que produce. Por otro lado, la producción de las tierras de cultivos depende mucho del uso intensivo del riego; desde 1950, los regadíos han pasado de 94 a 260 millones de

hectáreas y hoy son responsables del 40 por 100 de la producción total de alimentos^[38]. En muchas tierras, sin embargo, la introducción de bombas de agua con modernos motores de gasóleo ha reducido la capacidad de la zona freática, un efecto que nos indica que también aquí hay poco espacio para la expansión. Lo que ocurre, ecológicamente hablando, es que los depósitos de agua dulce del subsuelo, que han tardado millones de años en llenarse, se agotarán dentro de unas décadas.

La sobreexplotación de los recursos es una cara del impacto humano sobre la biosfera; el vertido de residuos es la otra. El ejemplo más espectacular de la trascendencia de los contaminantes generados por los humanos podría ser la posibilidad de que estemos cambiando la atmósfera de la Tierra. Lester Brown sostiene que, «mientras que la revolución agrícola transformó la superficie de la tierra, la revolución industrial está transformando la atmósfera^[39]». La temperatura de la superficie depende del precario equilibrio entre la cantidad de luz solar que cruza la atmósfera y la cantidad liberada o devuelta al espacio. Marte, cuya atmósfera es insignificante, retiene poca energía solar y en consecuencia es demasiado frío para contener vida. Venus, cuya atmósfera es un invernadero con abundancia de anhídrido carbónico, tiene una temperatura de unos 450 grados centígrados, demasiado elevada para la vida. El factor decisivo (aunque no el único) que determina la cantidad de energía solar que retiene la superficie del planeta es la cantidad de anhídrido carbónico que hay en la atmósfera. Durante la última glaciación, la temperatura media era unos 9 grados centígrados más baja que la actual y los niveles atmosféricos de CO₂ eran aproximadamente de 190-200 partes por millón. Hacia 1800, los niveles de CO₂ habían subido a unas 280 partes por millón. La revolución industrial comenzó en este punto a explotar masivamente combustibles inorgánicos como el carbón y el petróleo, que aumentaron enormemente la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera. En la actualidad, los niveles de CO₂ han llegado a unas 350 partes por millón, el doble que durante las glaciaciones. Hacia 2150 podrían duplicarse otra vez y quedar entre 550 y 600, si continúa el ritmo actual de emisión. El carbono que se acumuló en los árboles y que luego permaneció sepultado bajo tierra durante decenas de millones de años ha vuelto a la atmósfera en unas cuantas décadas. Una parte del ciclo del carbono que normalmente se rige por una escala temporal de millones de años se ha acelerado de manera espectacular. Y los procesos naturales no pueden absorber el carbono a esas velocidades.

Lo que no acaba de estar claro es qué significará en la práctica esta explosiva liberación de anhídrido carbónico. En términos generales se cree que producirá un calentamiento y las temperaturas globales son ya más altas que a principios del siglo xx. El calentamiento podría aumentar la productividad ecológica en algunas zonas, pero es innegable que tendrá una repercusión planetaria, para bien o para mal. Parece que las temperaturas medias se han elevado en las dos últimas décadas por lo menos, ocasionando períodos de calor y sequía inusitados, así como pautas climatológicas anómalas. Un aumento de 2,5 grados centígrados (según un cálculo

moderado) en 2050 representaría el equivalente de los cambios producidos al final de la última glaciación. El volumen del agua aumentará, subirá el nivel del mar y se fundirán los casquetes polares. Los efectos serán trágicos en las tierras de escasa altitud: en las islas del Pacífico, los Países Bajos, Bangladesh y otros lugares. El calentamiento afectará asimismo a las especies existentes, entre ellas algunas vitales para los humanos. El arroz no soporta las temperaturas altas, así que su productividad podría retroceder conforme sube la temperatura^[40].

Puede que el aspecto más preocupante de los efectos del calentamiento global sea que son imposibles de prever. Los climatólogos saben que los sistemas climáticos, como muchos otros sistemas caóticos, están sometidos a cambios bruscos y repentinos. Pueden evolucionar despacio y de manera previsible durante un tiempo, y luego volverse inestables y pasar bruscamente a otro estado. Es posible que al final de la última glaciación se produjera uno de estos cambios repentinos. Si el calentamiento actual se está produciendo a una escala parecida, entonces no podemos descartar la posibilidad de que el clima global experimente un cambio *cuantitativo* repentino, un cambio que podría discurrir a la escala de una vida humana.

El descenso de la biodiversidad y el aumento de las emisiones de carbono están entre los indicadores más trascendentes del impacto humano. Lester Brown, excoordinador del anuario *State of the World*, dice que, a finales del siglo xx, los efectos más perniciosos de la actividad humana eran patentes en seis sectores: el agua potable, la tierra útil, las pesquerías oceánicas, los bosques, la diversidad biológica y la atmósfera planetaria^[41]. Mientras que el impacto en los tres últimos sectores es indirecto para la mayoría de las personas, y por lo tanto más fácil de olvidar, el producido en los tres primeros es más evidente y nos invita a pensar que nuestra capacidad de alimentar a una población creciente tiene un límite innegable. La falta de agua potable pone en peligro la salud de millones de personas e impide el crecimiento potencial de los regadíos. Además, la explotación de las pesquerías y las tierras útiles parece haber llegado al nivel máximo^[42].

En un concienzudo resumen del impacto humano sobre el medio ambiente, publicado en la década de 1990, Robert W. Kates, B. L. Turner y William C. Clark se esfuerzan por medir el alcance del impacto medioambiental humano a diversas escalas. Toman diez efectos fundamentales en el medio ambiente, calculan el impacto total entre 10 000 a. C. y 1985 d. C. y determinan las fechas en que los valores alcanzan el 25, luego el 50 y finalmente el 75 por 100 del nivel de 1985; sus cifras aparecen en la tabla 14.7. La forma más rápida de juzgar el significado de la tabla es mirar las fechas en las que ese tipo de impacto llega al 50 por 100 del valor de 1985. En siete variables hubo más cambios entre 1945 y 1985 que en los 10 000 años anteriores^[43]. En cuanto a las tres variables restantes —deforestación, extinción de vertebrados y liberación de carbono en la atmósfera—, el 50 por 100 de los cambios se ha producido después de mediados del siglo xix. La tabla 6.1 nos cuenta algo parecido en el uso humano de la energía. Desde el punto de vista cronológico, el

siglo xx es un fragmento de historia diminuto, pero la escala de las transformaciones que ha presenciado empequeñece toda la historia humana anterior.

TABLA 14.7. CAMBIO AMBIENTAL POR CAUSA HUMANA. DE 10 000 A. C. A 1985 D. C

Efecto	<i>Años de los cuartiles (respecto de los niveles de 1985)</i>		
	25%	50%	75%
Deforestación	1700	1850	1915
Diversidad de vertebrados terrestres	1790	1880	1910
Retroceso del agua	1925	1955	1975
Volumen demográfico	1850	1950	1970
Emisión de carbono	1815	1920	1960
Emisión de azufre	1940	1960	1970
Emisión de fósforo	1955	1975	1980
Emisión de nitrógeno	1970	1975	1980
Emisión de plomo	1920	1950	1965
Producción de tetracloruro de carbono	1950	1960	1970

FUENTE: Robert W. Kates, B. L. Turner II y William C. Clark, «The Great Transformation», en B. L. Turner II *et al.*, eds., *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, p. 7.

Los humanos del siglo xx han ocasionado cambios tan decisivos, tan rápidos y de escala tan amplia que nos obligan a enfocar nuevamente la historia humana como parte integral de la historia de la biosfera. Las estadísticas recogidas en este capítulo nos dan una idea de la escala y velocidad del cambio. Lo que no nos dan es una indicación clara de sus consecuencias a largo plazo, produciendo en cambio la impresión de que hay algo muy grande que se mueve muy aprisa. Éste es quizá el aspecto más preocupante de este breve repaso a la historia del siglo xx: el temor de que sea como un accidente de tráfico a cámara lenta. ¿Puede seguir acelerándose el cambio sin consecuencias peligrosas para la sociedad humana y la biosfera en general? ¿O conseguirá esa asombrosa creatividad que representa la otra cara de la revolución moderna conducirnos hacia una relación más estable y sostenible con el medio natural? El capítulo siguiente, que repasa algunos futuros posibles a diferentes escalas, empezará planteando estos temas.

RESUMEN

Los cambios producidos en el siglo XX han sido, en muchos aspectos, mayores que los producidos en toda la historia humana anterior. Cuando la revolución moderna cogió velocidad, la capacidad productiva subió en vertical: lo mismo ocurrió con el nivel de vida en las regiones axiales industrializadas, ya que los gobiernos y la clase empresarial acabó entendiendo que la satisfacción material de la población era la clave para construir una sociedad capitalista próspera. Pero gran parte del impacto de la revolución moderna fue destructivo fuera de las regiones axiales. Las formas de vida tradicionales y las salvaguardas interiores resultaron arrasadas, al igual que los estados que eran responsables de ellas. Los estados comunistas de mediados del siglo XX quisieron igualar las hazañas económicas y militares de las sociedades capitalistas, aunque eludiendo las desigualdades inherentes al capitalismo. Pero no supieron estar a la altura de sus rivales ni crearon sociedades que ofrecieran alternativas interesantes. Tan espectacular como los cambios económicos y tecnológicos del siglo fue la creciente influencia humana en la biosfera, que creció más rápidamente que en toda la historia anterior. A principios del siglo XXI las sociedades humanas ejercían ya una influencia innegable en toda la biosfera y cada vez eran más contundentes los indicadores de que los humanos estaban viviendo por encima de los límites sostenibles. La aceleración del ritmo y la escala del cambio es quizás el aspecto más asombroso y (para los contemporáneos) más aterrador de la historia del siglo XX. La escala de los impactos humanos en la biosfera y en otros humanos es hoy tan grande que los cambios del siglo XX se advertirán en la escala de la historia planetaria.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

J. R. McNeill, *Something New under the Sun* (2000), y Eric Hobsbawm, *Historia del siglo XX: 1914-1999* (1994), presentan introducciones opuestas: la primera se centra en temas ecológicos, la segunda en temas históricos más convencionales. *La era de la información* (3 vols., 1996-1998) de Manuel Castells es un ambicioso esfuerzo por encuadrar en una teoría los cambios de finales del siglo XX. B. L. Turner II et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (1990), cuantifica el alcance de los impactos humanos en el medio ambiente y los volúmenes anuales de Lester Brown et al., *State of the World* (desde 1984), publican estadísticas ecológicas. David Held et al., eds., *Transformación global* (1999), analiza algunos aspectos de la globalización, mientras que Paul Harrison, *Inside the Third World* (1981) y *The Third Revolution* (1992), dan a conocer muchas realidades de la vida en el tercer mundo. Paul Kennedy, *Hacia el siglo XXI* (1994), repasa muchas tendencias a largo plazo.

Sexta parte
PERSPECTIVAS SOBRE EL FUTURO

Capítulo 15 LOS FUTUROS

Este libro ha comenzado analizando estructuras muy grandes y escalas temporales gigantescas. Pero su enfoque se ha ido concentrando: primero en un solo planeta, luego en la historia de una sola especie y por último en un solo siglo de la historia de esa especie. Ahora, para mirar hacia el futuro, tenemos que recuperar las escalas del tiempo y el espacio.

PENSAR EN EL FUTURO

Estamos en una situación que es como ir en un coche rápido por la noche, por un paisaje desconocido, con muchos desniveles y socavones, y precipicios cerca. Un faro, por débil y parpadeante que sea, podría evitar algunos de los peores desastres.

MURRAY GELL-MANN

En principio parece absurdo hablar del futuro. A fin de cuentas, el futuro es imprevisible.

No se trata sólo de que no sepamos suficiente. Ciertos científicos del siglo XIX creían que la realidad era determinista y previsible. Creían que si sabíamos lo suficiente sobre la posición y movimientos de todo lo que nos rodea, podríamos predecir el futuro con exactitud. Ahora sabemos que no es posible. La física cuántica pone de manifiesto que *la imprevisibilidad forma parte de la naturaleza de la realidad*. La realidad es confusa en los niveles más pequeños. Parece que hay un límite para la precisión con que podemos medir los movimientos de las partículas subatómicas. En cierto modo es como si estuvieran dispersas en el tiempo y el espacio, así que lo único que podemos hacer es calcular la probabilidad de su existencia en un punto y en un momento concretos. Esta imprevisibilidad se suele denominar *caos*, dado que la teoría del caos ha demostrado que miles de millones de pequeñas incertidumbres pueden asociarse en largas cadenas causales hasta que, en el mundo a gran escala que habitan los humanos, crean mucha imprevisión a gran escala. En los años noventa se demostró con rigurosas pruebas matemáticas que el comportamiento caótico es algo más que simple ignorancia o inexactitud: es la forma de ser de las cosas. Aunque los cambios se produzcan según leyes deterministas

exactas, no podemos saber el punto de partida del cambio con precisión suficiente para prever con exactitud su comportamiento futuro. Así, aunque la realidad sea determinista, no es previsible por fuerza.



FIGURA 15.1. Salida de la Tierra vista desde la Luna. Esta famosa fotografía se tomó desde el *Apolo* el 8 de diciembre de 1968. Hoy es un arraigado símbolo de la progresiva conciencia de la unidad y la fragilidad humanas. El autor de la foto fue probablemente William Anders, uno de los tres astronautas de la misión. En una entrevista de 1998 dijo: «Las imágenes de la Tierra vista desde la Luna consiguieron que la raza humana, los dirigentes políticos, los grupos ecológicos y toda la ciudadanía se dieran cuenta de que estamos amontonados en un planeta diminuto que parece de juguete, y de que hay que tratarlo mejor, a él y a nosotros mismos, o desapareceremos de aquí muy pronto». Como ha señalado Fred Spier, la foto de la salida de la Tierra no deja de ser también un irónico símbolo de la fragilidad de los mapas humanos de la realidad, ya que las versiones sobre qué astronauta hizo las fotos, y cuándo, son totalmente contradictorias. (Fred Spier, «The Apollo 8 Earthrise Photo», 2000, en <http://www.i20.uva.nl/inhoud/gig/Apollo%208%20US.pdf> [página consultada en abril de 2003]). Foto por gentileza de la NASA.

Pero hay otra clase de incertidumbre. Saber cómo funciona un objeto no tiene por qué servirnos para prever su comportamiento cuando se combina con otros objetos en un sistema mayor. Los sistemas interactivos con elementos diferentes parecen funcionar según leyes de última hora que no siempre podemos deducir conociendo el funcionamiento de sus componentes. Conocer el hidrógeno y el oxígeno no nos da mucha información sobre el agua, que es resultado de su combinación química^[1]. Ricard Solé y Brian Goodwin han señalado que «en el caso del caos, lo que imposibilita la predicción de la dinámica es la sensibilidad a las condiciones iniciales. En el de las propiedades emergentes es la incapacidad general de los observadores para predecir el comportamiento de sistemas no lineales basándose en el conocimiento de sus partes e interacciones^[2]».

Hemos visto en marcha las dos clases de imprevisibilidad, en la evolución y en la historia humana. Con las mismas leyes de la selección natural o del cambio cultural pueden construirse muchos futuros posibles. Hasta cierto punto, los cambios tienen siempre un final abierto. No obstante, entre el pasado y el futuro hay una diferencia real que convierte las predicciones en un juego peligroso. Peter Stearns nos recuerda hasta qué punto lo es enumerando las predicciones fallidas más espectaculares que se formularon en Estados Unidos en el siglo xx: «Un despertador que envía impulsos electrónicos al cerebro de la persona dormida (1955); los cerebros electrónicos decidirán quién se casa con quién y los matrimonios serán más felices (1952); sólo trabajará el 10 por 100 de la población y el resto cobrará por no hacer nada (1966 y en fechas posteriores); dentro de unas décadas desaparecerán las enfermedades contagiosas y las del corazón (otra vez 1966, sin duda el año glorioso de los entusiastas de la tecnología^[3])». Por todos estos motivos, los historiadores no suelen enfocar el futuro en su totalidad. R. G. Collingwood dijo muy seriamente: «El oficio del historiador consiste en conocer el pasado, no el futuro, y allí donde los historiadores afirmen que son capaces de concretar el futuro, podemos decir sin riesgo a equivocarnos que falla algo en su concepción básica de la historia^[4]».

A pesar de estas cautelas, es imposible sustraerse a la tentación de hacer predicciones. Hay por lo menos dos situaciones en las que podemos y *debemos* hacerlas. La primera se da cuando tratamos de entidades que cambian con lentitud o con sencillez. La apertura de los finales abiertos varía, porque incluso en los procesos regidos por el caos la imprevisibilidad tiende a darse dentro de unos límites. Así pues, el cambio es razonablemente sencillo y fácil de prever en algunos procesos y a ciertas escalas. Se trata de los cambios que los deterministas de antaño pensaban que eran característicos de *todas* las transformaciones. Por ejemplo, cuando los químicos mezclan sustancias definidas a temperaturas concretas, por lo general prevén el resultado exacto de la operación. Esto no significa que predecir sea fácil, sólo que a veces es posible, si tomamos las debidas precauciones. Cuando se dispara un cañón, el punto donde aterriza el proyectil es de la máxima importancia; al artillero le conviene conocer las matemáticas de la balística, porque de ellas puede depender la victoria o la derrota. El pensamiento determinista da buenos resultados cuando el cambio es lento. En estos procesos, el presente parece estirarse y adentrarse en lo que creemos que es el futuro. Entre el principio y el fin de un suspiro puede transcurrir un par de segundos, pero entre la formación y la desaparición de una montaña pueden transcurrir millones de años. Así que podemos decir con cierta seguridad que el Everest seguirá estando donde está dentro de mil años.

También vale la pena meditar sobre el futuro cuando nos enfrentamos a procesos complejos cuyo resultado nos afecta y sobre los que tenemos alguna influencia. Elegir qué acciones compramos o por qué caballo apostamos en las carreras son ejemplos válidos. No son procesos deterministas, y en consecuencia no podemos preverlos con la seguridad de un artillero. Pero tampoco tienen un final totalmente

abierto. Si el cambio es muy aleatorio, ponerse a predecir es derrochar energía; lanzar una moneda al aire es una forma de tomar decisiones tan racional como cualquier otra. Pero cuando en sistemas que nos afectan hay aunque sea sólo un mínimo de previsibilidad, vale la pena reflexionar sobre lo que ocurre: y estas situaciones se dan por doquier en la vida cotidiana. Cuando las barajamos, las predicciones pasan a ser un juego de porcentajes. Las que tienen muy en cuenta las variables implicadas en los cambios en cuestión probablemente pueden, con el tiempo, acertar más veces que las que no se molestan en contemplarlas. Algunos jugadores ganan mucho dinero. En estas situaciones interesa muchísimo meditar la predicción. Los animales barajan predicciones sin cesar a propósito, por ejemplo, de las probabilidades de que aparezcan depredadores peligrosos en determinado lugar. Los que aciertan sobreviven y los que no, no. De este modo, la capacidad de previsión acaba por incorporarse al paquete genético de casi todas las especies. Las elecciones cuyo resultado importa, y que no son ni deterministas ni totalmente aleatorias, nos rodean por doquier. No es de extrañar, pues, que en todas las sociedades humanas haya profesiones totalmente basadas en la previsión, y aquí basta pensar en los astrólogos, en los corredores de bolsa, en los profesionales de las apuestas, en los hombres del tiempo... o en los políticos.

Los seres vivos hacen estas dos clases de previsiones continuamente, y del mejor modo que saben, ya sean águilas que caen en picado sobre una presa o inversores que compran acciones. En realidad, es imposible obrar sin prever. Hablando con propiedad, las previsiones son tan inevitables como los suspiros.

Al pensar en el futuro a las escalas de la gran historia nos involucramos en las dos clases de previsión. Este capítulo empezará comentando el futuro inmediato a una escala de un siglo aproximadamente. El cambio es complejo e inestable a esta escala, pero no hay motivos para pensar que sea totalmente aleatorio. Además, tenemos que prever a esta escala porque nuestras previsiones influirán en nuestros actos y éstos determinarán hasta cierto punto la vida de nuestros hijos y nietos. Así pues, tratar de prever la configuración que tendrá el próximo siglo es un asunto serio. Sobre el «futuro medio», a una escala de centenares o miles de años, es casi imposible hacer previsiones serias. Tenemos poca influencia sobre estas escalas y hay demasiados futuros posibles. Nuestra capacidad previsora es tan limitada que no vale la pena dedicar demasiado esfuerzo a esta empresa. Sin embargo, cuando pasamos al futuro lejano, a escalas temporales y objetos mayores, como planetas, o estrellas, o galaxias, o el propio universo, las previsiones vuelven a ser fáciles. Esto se debe a que en estas escalas tratamos con cambios más lentos y previsibles, ante los que el pensamiento determinista vuelve a ser válido. Tampoco aquí hay certidumbre, pero el margen de posibilidades es más estrecho.

EL FUTURO INMEDIATO: LOS PRÓXIMOS CIEN AÑOS

Las cosas ocurrieron muy despacio y al principio no nos dimos cuenta —explicaba Jean-Marie—. Al principio de una enfermedad no te enteras de que puede hacerte daño. Sólo cuando ya no puedes andar comprendes que estás realmente enfermo. Cuando vimos que la tierra se moría, supimos que teníamos que hacer algo. Pero no sabíamos qué hacer. [Jean-Marie Sawadogo, 55 años, cabeza de una familia que vivía cerca de Ouagadougou, capital de Burkina Faso].

PAUL HARRISON

Las llanuras que hoy día se llaman campos de Feleo [lugar del Ática donde nació Platón] tenían un suelo muy fértil, sobre las montañas había extensos bosques de los que aún quedan actualmente huellas visibles. Pues bien, entre estas montañas que ya no pueden alimentar más que a las abejas hay algunas en las que no hace aún mucho tiempo se talaron árboles para techar grandes edificios cuyas vigas aún están en pie. Había también multitud de altos árboles cultivados, y la tierra brindaba a los rebaños unos pastos inagotables. El agua fecundante de Zeus que caía cada año sobre ella no discurría en vano, como actualmente, para perderse en el mar desde la tierra estéril: la tierra tenía agua en sus entrañas, recibía del cielo una cantidad suficiente para empaparla y además conducía y desviaba por sus anfractuosidades el agua que caía en los lugares elevados, de suerte que por doquier fluían los generosos caudales de las fuentes y los ríos. Respecto de todos estos hechos, los santuarios que subsisten en nuestros días en honor de las antiguas fuentes son un testimonio fehaciente de que esto que acabamos de contar es verídico. [...] Nuestra tierra ha venido a ser, en comparación con lo que era entonces, como el esqueleto de un cuerpo descarnado por la enfermedad. Las partes grasas y blandas de la tierra han desaparecido y no queda más que el espinazo desnudo de la región.

PLATÓN

La escala de un siglo tiene importancia estratégica porque estará determinada por personas que viven actualmente y afectará a la vida de nuestros hijos y nietos. Es la escala que debemos tener en cuenta si queremos transmitir a nuestros herederos el

mundo en buen estado. Además, la aceleración de las transformaciones en el siglo XX hace que sea social y políticamente irresponsable no contemplar el futuro a esta escala, dado que las cosas pueden cambiar muy aprisa. Y a esta escala, la voluntad política y la creatividad pueden tener un valor de previsión. Así que nuestras previsiones podrían determinar el futuro. Debemos aprender a prescindir del relato de creación moderno y a aceptar que somos los autores colectivos del capítulo siguiente.

Pero predecir a esta escala es muy difícil y se parece más a la previsión del tiempo que a la previsión de la trayectoria de un misil. Para jugar bien a este juego de porcentajes primero tenemos que fijarnos en las tendencias a largo plazo que hemos repasado en los capítulos anteriores, porque, a semejanza de los procesos geológicos, es muy probable que sigan en funcionamiento durante algún tiempo. Pero también tenemos que tener en cuenta la posibilidad de que las tendencias cambien de dirección o den giros bruscos y aleatorios. Y tenemos que disciplinarnos intelectualmente para que nuestros mapas de la realidad sean verosímiles hasta donde podamos. La joven disciplina denominada *futurología*, cuyo origen se remonta a los intentos de prever los progresos tecnológicos durante la segunda guerra mundial, ha estado dominada por el deseo de modelar futuros pensando en la tecnología, en las consecuencias militares (como en *On Thermonuclear War*, 1960, de Herman Kahn) y en los efectos ecológicos (como en los modelos de Donella Meadows y sus colaboradores en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, cuya primera entrega fue *Los límites del crecimiento*, 1972^[5]). Pero a pesar de la perfección de algunos de estos modelos, quienes los construyen, desde los corredores de bolsa hasta los meteorólogos, saben que lo más que pueden esperar es un porcentaje de conjeturas acertadas algo superior al de sus rivales. Así pues, las reglas básicas de la futurología serían: a) buscar las tendencias a largo plazo y analizar su funcionamiento; b) construir modelos que sugieran qué tendencias pueden interaccionar; y c) estar atentos a las contratendencias u otros factores que pudieran desnaturalizar o pasar por alto las previsiones sugeridas por las tendencias a largo plazo y los modelos sencillos. Hecho esto, sólo resta prepararse para la probable posibilidad de que muchas previsiones estén equivocadas. Por lo que digo no parece que se pueda sacar mucho partido de la futurología, pero es mejor que no hacer nada, del mismo modo que observar el terreno de un hipódromo siempre será mejor que lanzar una moneda al aire. A largo plazo se ganará más dinero observando el terreno.

Algunas tendencias descritas en el capítulo anterior, como la aceleración del ritmo del propio cambio, son preocupantes. Clive Ponting, en su notable *Historia verde del mundo* (1992), ha sabido reflejar la inquietud que producen^[6]. En el primer capítulo de este libro hay una parábola de la historia humana en su conjunto; procede de la historia de uno de los lugares más remotos de la Tierra, la isla de Pascua. Se encuentra en el océano Pacífico, a 3500 kilómetros al oeste de Chile; el punto habitado más próximo es la isla Pitcairn, situada 2000 kilómetros al oeste. La isla de Pascua, cuyo nombre local es Rapa Nui, se llama de aquel modo porque los europeos

que iban a bordo de un buque holandés, el *Arena*, la descubrieron el domingo de Resurrección de 1722. La tripulación del *Arena* comprobó que en la isla había unas 3000 personas que vivían en cuevas y en chozas de juncos. Parecían estar en guerra continua por culpa de los escasos recursos alimenticios. En términos generales era un lugar sumido en la miseria absoluta. Sin embargo, los europeos descubrieron que en la isla había también más de 600 esculturas gigantescas, casi todas con más de seis metros de altura. Estaban bellamente talladas y eran de una elegancia asombrosa, y muchas tenían una especie de moño de piedra (de 10 toneladas en algunos casos) en lo alto de la cabeza. Para esculpir, transportar y erigir aquellas estatuas había hecho falta una perfección técnica y organizativa impresionante, pero entre los isleños del siglo XVIII no había el menor rastro de esta capacidad. Además, costaba entender que un medio tan pobre hubiera alimentado a una sociedad capaz de levantar aquellos monumentos. En el siglo XVIII sólo había en la isla una especie de árbol silvestre y otra de arbusto silvestre. (El árbol silvestre se extinguió en el siglo XX, aunque volvió a introducirse con especímenes conservados en un jardín botánico de Suecia). La única fuente de proteínas animales parece que eran las gallinas, ya que la inexistencia de botes impedía pescar a los isleños.

El misterio de la isla de Pascua se ha desvelado gracias en parte a las técnicas modernas, como el análisis de los restos de polen, con los que los arqueólogos reconstruyen medios y paisajes antiguos. Lo que salió a la luz fue una triste historia. La ocupación de la isla se produjo en las últimas fases de la colonización del Pacífico, la cuarta zona mundial del Holoceno. (No es inverosímil que hubiera una población anterior, de origen suramericano, pero no hay nada demostrado). La isla fue colonizada hace probablemente unos 1500 años por un grupo de veinte o treinta habitantes de las islas Marquesas, que llegaron en bote. El pequeño tamaño de la isla y la limitación de sus recursos garantizaban las dificultades de la colonización. La isla tiene sólo 22,5 kilómetros de longitud por unos 11 de anchura. No había entonces mamíferos autóctonos y la pesca obtenible en las costas era limitada. Los colonos llevaban consigo gallinas y ratas; y no tardaron en averiguar que entre los productos a los que estaban acostumbrados, como el ñame, la colocasia, el plátano o el coco, sólo uno, el boniato, podía cultivarse allí. De modo que la base de su dieta pasó a ser el pollo y el boniato. La buena noticia fue que no costaba mucho vivir de aquellos productos básicos. La isla tenía bosques frondosos y el suelo era volcánico y fértil.

Con el paso del tiempo aumentó la población y aparecieron aldeas independientes, esparcidas por toda la isla. La competencia entre las aldeas y los jefes de las mismas pudo haber adoptado la forma de conflicto armado, pero también adoptó una forma moderna identificable: la construcción competitiva de monumentos. Ya en 700 d. C. empezaron a construirse grandes patios de piedra (llamados *ahu*) con esculturas. Es posible que fueran monumentos dedicados a dirigentes locales vivos o muertos, porque algunos, desde luego, contienen tumbas. En muchos puntos de Polinesia pueden verse monumentos parecidos, pero ninguno

tan grandioso como los de la isla de Pascua. Conforme prosperaban estas sociedades, aparecieron jerarquías materiales y políticas, y aumentaron las prácticas organizativas y tecnológicas de los isleños. La disposición de algunos *ahu* parece estar en correspondencia con las estrellas, un detalle que no tiene por qué resultar extraño en una población que desciende de navegantes. Y parece que inventaron una forma sencilla de escritura.

El principal dilema para los arqueólogos era saber cómo se habían transportado y colocado las esculturas. Parece que las transportaron con rodillos hechos con troncos de árbol. Hace unos 500 años, la isla tenía alrededor de 7000 habitantes y la competencia entre las aldeas era terrible. Construir y transportar esculturas suponía la tala de una cantidad creciente de árboles... hasta que se taló el último que quedaba. La sociedad local decayó repentinamente. La brusquedad de la catástrofe se advierte en la existencia de esculturas a medio tallar en las paredes volcánicas de las canteras principales. Los efectos de la deforestación fueron devastadores, ya que la madera se necesitaba no sólo para transportar las esculturas, sino también para construir embarcaciones pesqueras y casas, para confeccionar redes y ropa (con las fibras de la morera del papel) y para hacer leña con que cocinar y calentarse. Ya no se podía pescar, ni confeccionar ropa, ni construir casas; la alimentación se deterioró y los isleños empezaron a vivir en cuevas y chozas de juncos. La deforestación aumentó la erosión, reduciendo la fertilidad del suelo y las cosechas. El pollo pasó a ser el principal producto alimenticio y la población se vio en la triste situación de tener que construir fortalezas de piedra para los pollos, que defendían en grotescas y sangrientas guerras avícolas. La escasez de proteínas animales se compensaba a veces con un poco de canibalismo. Como ya no podían celebrarse las ceremonias que rodeaban la construcción de monumentos, las estructuras políticas se vinieron abajo. La verdad es que las antiguas tradiciones desaparecieron tan radicalmente que los isleños de dos siglos después apenas sabían nada del pasado de la isla o del significado de las esculturas. En resumen: el crecimiento demográfico y un consumo creciente de recursos impulsado por la competencia política y económica produjeron la decadencia ambiental y social.

Lo más aterrador de esta historia es que los isleños y sus dirigentes tuvieron que verlo venir. Tuvieron que saber, mientras talaban los últimos árboles, que estaban destruyendo su futuro y el de sus hijos. Y sin embargo talaron los árboles. ¿Podemos ver en la historia de Rapa Nui una parábola que nos invita a pensar en la historia humana? Al fin y al cabo, la destrucción de ambientes tras períodos de cambio rápido, por la extinción de la megafauna en la Edad de Piedra o por el riego excesivo en la Mesopotamia del III milenio a. C. o en las tierras mayas hace sólo unos mil años, es un tema que se repite en la historia humana.

Hay semejanzas inquietantes entre las tendencias descritas en el capítulo anterior y la historia de la isla de Pascua. Conforme aumentan las desigualdades globales, los recursos se consumen en cantidades crecientes para mantener las vastas estructuras

jerárquicas de las sociedades capitalistas modernas. Las sociedades modernas tienen su propia forma de competir construyendo monumentos. Los recursos, desde el agua potable hasta la madera, se consumen más aprisa de lo que tarda su reposición; y los residuos, desde los plásticos hasta el carbono, se vierten más rápidamente de lo que los ciclos ecológicos naturales tardan en absorberlos. Sin embargo, la población sigue aumentando y los políticos de todo el mundo alegan que el crecimiento económico debe continuar, e incluso acelerarse, para aliviar la miseria de los países más pobres y mantener el nivel de vida de los más ricos. Pero ¿de verdad puede sostenerse este crecimiento? Si los niveles del consumo actual son ya peligrosos, entonces resulta aterrador imaginar un mundo en el que toda la población consume recursos y produce residuos al ritmo de las naciones industriales más ricas. Gandhi entendió el problema ya en 1928, cuando escribió: «No permita Dios que la India abrace nunca la industrialización a la manera de Occidente. [...] Si toda una nación de 300 millones se dedicara a una explotación económica semejante, dejaría el mundo tan pelado como si hubiera pasado una plaga de langostas^[7]». Sin embargo, al capitalismo, que hoy es la fuerza dominante del desarrollo económico, le sienta bien el crecimiento; y los dirigentes políticos y económicos que tienen hoy el máximo poder responden a las demandas de los electores con planes y proyectos a corto plazo, igual que los constructores de monumentos de la isla de Pascua. Al igual que en la isla de Pascua, parecen incapaces de detener los procesos que ponen en peligro el futuro de nuestros hijos y nietos.

Aunque siempre es posible que nos vaya mejor que a los habitantes de Rapa Nui^[8]. El aprendizaje colectivo, que se mueve hoy a una escala y con una eficacia mayores que nunca, podría ser el puntal más importante de la esperanza. Si hay soluciones, para los humanos y para la biosfera en general, las redes globales de información de los humanos modernos las descubrirán seguramente. Estas redes nos aportan la tecnología que nos permite moldear la biosfera como queremos, y las modernas redes del aprendizaje colectivo, impulsadas electrónicamente, nos han ayudado a conocer los peligros de nuestro creciente poder ecológico. A grandes rasgos, el problema está claro. Para impedir que se repitan a escala global las catástrofes que destruyeron la isla de Pascua tenemos que encontrar formas de vida más sostenibles. Tenemos que utilizar el agua, la madera, la energía y las materias primas a un ritmo que pueda mantenerse, no durante decenios, sino durante siglos, y debemos verter residuos en cantidades que puedan absorberse sin peligro, para no destruir el medio ni a las demás criaturas. ¿Podemos hacerlo?

Si la población sigue creciendo al ritmo de finales del siglo xx, no hay esperanza. Sin embargo, hay motivos para ser optimistas, porque las tasas globales del crecimiento demográfico parecen haber frenado tanto en los países más ricos como en los más pobres. Los indicadores de esta transición demográfica son muy sólidos actualmente. Durante casi toda la era agraria, las tasas del crecimiento demográfico estaban determinadas por las elevadas tasas de natalidad y mortalidad; las familias

querían tener muchos hijos porque sabían que algunos morirían durante la infancia. El crecimiento demográfico de los países más ricos depende hoy de otros factores, ya que las tasas de natalidad y mortalidad han descendido y la calidad de vida es mejor que antes. Sobreviven más niños y se espera que los individuos vivan más; pero como los hijos ya no son el único apoyo de la vejez, hay menos necesidad de tenerlos para que garanticen la longevidad de los padres. El resultado es que las tasas de natalidad han descendido y el crecimiento demográfico también, tanto que en algunos países la tasa es cero. El rápido crecimiento demográfico de los últimos siglos y decenios estuvo determinado por un punto medio entre los dos extremos en el que descendía la tasa de mortalidad (gracias a la mejora de los servicios sanitarios y al aumento de la producción de alimentos) mientras se mantenía elevada la tasa de natalidad. La clave para estabilizar la población global en el siglo XXI será reducir la tasa de natalidad en los países más pobres, que siguen teniendo los valores más altos. Los factores que probablemente permitirán este resultado son el aumento de la riqueza, el fomento de la vida urbana, la mejora de la salud infantil y el aumento de la educación, sobre todo de las mujeres del tercer mundo (en especial en cuestiones de salud y métodos anticonceptivos). Invertir en la mejora de la salud y en la educación de las mujeres de los países más pobres podría incidir de un modo espectacular en las tasas de crecimiento de las próximas décadas. La tasa de natalidad ha descendido ya en muchos países pobres, de modo que es probable que en el curso del siglo XXI se estabilicen las tasas mundiales del crecimiento demográfico. En 1998 había ya treinta y tres países con crecimiento demográfico cero^[19]. Las estimaciones más optimistas dicen que la población mundial se estabilizará entre 9000 y 10 000 millones. Alimentar, vestir y alojar a otros 3000 o 4000 millones de personas será un gran reto, sobre todo porque casi todas nacerán en los países peor pertrechados para esta misión; pero dados el rápido incremento de la producción de alimentos en el siglo XX y los inmensos recursos disponibles en los países más ricos, no tiene por qué ser imposible. El gráfico de la figura 15.2 señala la probable evolución del crecimiento demográfico durante el siglo XXI, tanto en los países más ricos como en los más pobres.

¿Podrá estabilizarse también el consumo? Para eso tenemos que adoptar dos medidas fundamentales que ya han empezado a aplicarse a escala menor. La primera es pasar del consumo de recursos vírgenes al reciclaje. La segunda, depender más de fuentes de energía sostenibles y no contaminantes. Ya existen las tecnologías necesarias para explotar la energía solar, la energía eólica y las pilas de combustible de hidrógeno, aunque en los mercados mundiales actuales (que no se incluyen entre los costes ambientales de las fuentes de energía) no pueden competir comercialmente con los combustibles fósiles que todavía mueven la revolución moderna. Pero contamos ya con tecnologías que permiten el intercambio barato de información, gracias a la revolución tecnológica de finales del siglo XX. En principio tenemos las tecnologías que se necesitan para construir una economía mundial sostenible sin

reducir drásticamente el nivel de vida medio de los países más ricos. Pero podría suceder, como en la isla de Pascua, que los problemas más difíciles de resolver fueran políticos y educativos y no tecnológicos.

Los problemas políticos son formidables. Los dirigentes políticos y económicos con más poder para tomar decisiones en estos temas tienen que rendir cuentas a grupos de presión concretos, sean regionales o económicos, y la dinámica de los procesos políticos les incita a pensar con escalas temporales demasiado breves para abordar con eficacia asuntos sociales y ecológicos de interés mundial. Su resistencia al cambio recibirá el apoyo de los ciudadanos prósperos de los países más ricos, para quienes la crisis ecológica sigue siendo una amenaza lejana e incierta y no la catástrofe que es ya en muchos países pobres. Además, parece que el capitalismo, para existir, ha de depender del crecimiento continuo. ¿Significa esto que hay que desmantelar el capitalismo? Por desgracia, las revoluciones comunistas del siglo XX nos han dado a entender que la destrucción del capitalismo puede resultar una medida muy perniciosa, una medida que en cualquier caso no es probable que dé lugar a sociedades igualitarias o sensibles a los problemas ecológicos.

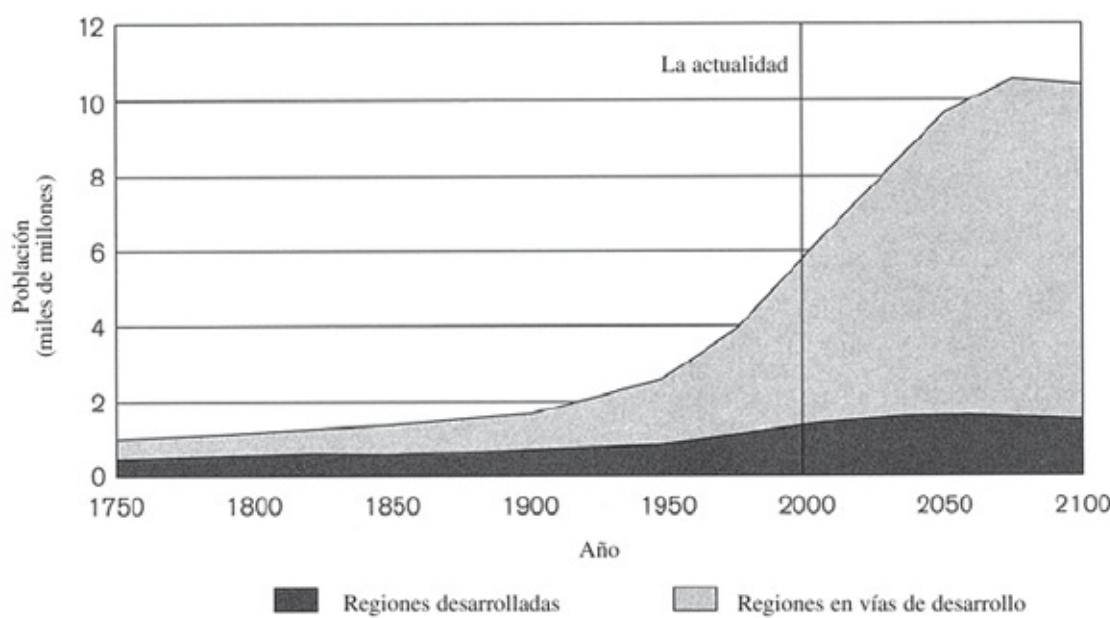


FIGURA 15.2. «Ciclo malthusiano» moderno, 1750-¿2100? El gráfico representa una estimación del crecimiento demográfico futuro tanto en las regiones desarrolladas del mundo como en las que están en vías de desarrollo. Casi todos los demógrafos están de acuerdo en que el rápido crecimiento de los dos últimos siglos se ralentizará y en que la población mundial se estabilizará alrededor de 2100. Pero como indica el gráfico, el crecimiento proseguirá durante un tiempo en las regiones menos preparadas para sostener más población. Basada en Paul Kennedy, *Preparing for the Twenty-First Century*, Fontana, Londres, 1994, p. 23.

Pero también hay factores optimistas en el plano político. Un indicio es la reciente y rápida formación de una conciencia mundial a propósito de los problemas ecológicos y su interrelación con cuestiones sociales y económicas; casi todos los gobiernos actuales se toman en serio estas cuestiones y lo mismo los votantes que los eligen. La Cumbre de la Tierra —la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el

Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en Río de Janeiro en 1992— fue un importante gesto simbólico en defensa de la sostenibilidad, en el que se acordó que los países más ricos ayudaran a los más pobres a desarrollarse por medios «medioambientalmente viables». Por primera vez se llegaba internacionalmente a la conclusión de que era necesario equilibrar el crecimiento con la sostenibilidad. En el peor de los casos fue una victoria retórica; diez años después se celebró otra conferencia, en Johannesburgo.

También ha habido casos de cooperación internacional, sobre todo en asuntos en los que era fácil llegar a un acuerdo. En los años setenta empezaron a acumularse datos de que la capa de ozono se estaba reduciendo por culpa de los clorofluorcarbonos (CFC^[10]). Éstos se empleaban en refrigeración, en sistemas de aire acondicionado y como productos de limpieza y disolventes. En 1977, a propuesta de algunos países desarrollados, se puso en marcha el UNEP (Programa sobre el Medio Ambiente de las Naciones Unidas) para afrontar el problema y aquel mismo año se celebró una conferencia durante la cual se adoptó un plan de acción global. La verdad es que nadie se tomó el plan con la seriedad suficiente para hacer nada, entre otras cosas porque las pruebas científicas seguían sin ser concluyentes. A principios de los años ochenta, Estados Unidos, responsable del 30 por 100 de las emisiones totales, lideró una campaña para reducir el uso de CFC, por un lado porque había sustitutos a mano y por otro a causa de las presiones interiores de los incipientes grupos ecologistas. Pero otros países —entre ellos algunos de la Comunidad Europea, responsable del 45 por 100 de la producción mundial— se manifestaron en contra de la regulación. Ciertos países en vías de desarrollo, como China y la India, también se manifestaron en contra, dado que planeaban aumentar su producción de CFC. Salta a la vista que los acuerdos internacionales son inútiles sin la cooperación de los productores principales en acto o en potencia. Algunos países pobres arguyeron que necesitarían ayuda económica internacional para escapar a la dependencia del CFC. A mediados de los años ochenta se consolidaron los testimonios científicos y varios «estados líderes» impulsaron la celebración de una convención internacional con compromisos concretos y vinculantes sobre el tema. En 1985 se firmó el Acuerdo de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, pero fue poco más allá de exigir la cuantificación internacional de las emisiones de CFC. En 1987, en la conferencia del UNEP en Montreal, tras muchas discusiones y muchos forcejeos con las divisiones internas, y por presiones de los países líderes (entre ellos Estados Unidos), la Comunidad Europea aceptó reducir el 50 por 100 para 1999. El Protocolo de Montreal sobre Sustancias que Reducen la Capa de Ozono permitió a los países desarrollados aumentar temporalmente la producción, aunque con el ojo puesto en la producción final. Por desgracia, el veto de Estados Unidos y Japón impidió ayudar económicamente a los países en vías de desarrollo que necesitaban adaptarse. Unos meses después, los últimos descubrimientos científicos, entre ellos la localización de un gran agujero en la capa de ozono en el Polo Sur, pusieron sobre el tapete la

urgencia de la cuestión. En mayo de 1989, ochenta naciones se manifestaron a favor de suprimir totalmente la producción de CFC para el año 2000. En 1990 se creó un fondo para ayudar a adaptarse a los países en vías de desarrollo y treinta y dos países industrializados contribuyeron con 1000 millones de dólares. Aún quedan lagunas en estos acuerdos, pero en términos generales han sido muy fecundos. La producción de CFC bajó de alrededor de 1,1 millones de toneladas en 1986 a 160 000 toneladas en 1996, y hay indicios de que el agujero de la capa de ozono ha comenzado a reducirse.

La reacción internacional a la crisis del ozono demuestra que es posible la cooperación. Los países, como los individuos, pueden trabajar juntos a veces para solucionar problemas comunes. Y allí donde hay un problema serio y probado, se puede organizar la cooperación con rapidez y eficacia, aunque ponga en peligro ciertos intereses regionales. Los mecanismos de cooperación internacional que existen en la actualidad son toscos e incómodos, pero pueden solucionar las cosas en un momento de crisis. La respuesta a la reducción de la capa de ozono no es el único caso que ejemplifica su eficacia, como ha señalado Lester Brown: «La contaminación atmosférica de Europa, por ejemplo, se ha reducido de manera espectacular a consecuencia del tratado de 1979 sobre contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia. Las emisiones mundiales de clorofluorcarbono (CFC) se han reducido en un 60 por 100 desde 1988, año de emisiones máximas, de acuerdo con el tratado de 1987 sobre la disminución del ozono y las enmiendas posteriores. La matanza de elefantes en África ha caído en picado a causa de la prohibición de 1990 de comerciar con marfil, de acuerdo con la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Animales y Vegetales en Peligro^[11]».

Pero hay un problema más grave aún. Hemos visto que el capitalismo es la fuerza motriz de las innovaciones en el mundo moderno y que las economías capitalistas dependen del aumento de la producción y las ventas. ¿Es compatible este crecimiento con la sostenibilidad? La respuesta no está clara, pero hay motivos para creer que el capitalismo podría ingenárselas para coexistir por lo menos con algunas de las primeras etapas de la transición a la sostenibilidad. Un motivo es que las economías capitalistas necesitan aumentar más los beneficios que la producción, y pueden obtenerse beneficios de muchas maneras, algunas compatibles con una economía sostenible. En principio, reciclar recursos y vender información y servicios en vez de mercancías puede generar beneficios con la misma eficacia que con la explotación de recursos vírgenes. Si los gobiernos gravaran con más impuestos los métodos de producción insostenibles, las inversiones no tardarían en reconducirse hacia actividades más sostenibles, que entonces producirían más beneficios. No hay una incompatibilidad absoluta entre el capitalismo y la sostenibilidad. Los mercados pueden dirigirse, como bien saben los gobiernos desde que John Maynard Keynes llamó la atención sobre el particular en los años treinta. Y entre los métodos de dirección más efectivos hay que mencionar los impuestos y las subvenciones para modificar los costes y cambiar el rumbo de la actividad económica. Como ha dicho

Brown con contundencia, el capitalismo contemporáneo es ecológicamente destructivo, entre otras cosas, porque no puede contabilizar los valores ecológicos. Por ejemplo, los métodos contables modernos no pueden valorar debidamente los servicios prestados por los bosques en la prevención de inundaciones, la absorción del anhídrido carbónico excedente, la prevención de la erosión del suelo y la conservación de la biodiversidad. En principio, pues, es totalmente factible recurrir a los impuestos y las subvenciones para incluir estos costes en las transacciones económicas. En realidad, los gobiernos actuales utilizan estos mecanismos de manera rutinaria. Un ejemplo sencillo de cómo podrían orientar los mercados hacia productos más sostenibles sería gravar con impuestos el uso de los combustibles fósiles, impuestos deducibles quizás de los impuestos sobre la renta. Estos impuestos podrían modificar el equilibrio actual entre la rentabilidad de los combustibles fósiles y la de fuentes energéticas menos perjudiciales como la energía eólica y las pilas de combustible, ya que, en una economía de mercado, el comportamiento de los precios puede transformar rápidamente la orientación de millones de consumidores y fabricantes.

Pero ¿existe voluntad política para poner en práctica estas medidas? Para que la respuesta sea afirmativa han de ocurrir dos cosas: el peligro ecológico debe ser innegable para quienes ejercen el poder en el mundo moderno (los gobiernos pueden reaccionar con rapidez ante las crisis cuando no caben dudas sobre su seriedad y magnitud) y las actitudes populares, sobre todo en los países más ricos, deben cambiar. Las actitudes son de importancia decisiva. La convicción general de que el crecimiento continuo de la producción es beneficioso en sí mismo es uno de los principales obstáculos de la reforma. Esta convicción se mantendrá mientras sigamos concibiendo el vivir bien como nos lo enseñó el capitalismo consumista, como el consumo incansable de bienes materiales en cantidad y de calidad crecientes. Modificar las definiciones de lo que es vivir bien podría ser a la postre un paso decisivo hacia una relación más sostenible con el medio ambiente.

Los restantes problemas son éticos y políticos. ¿Son tolerables las grandes desigualdades del mundo moderno? ¿Generarán conflictos que obliguen al final a emplear las destructivas tecnologías militares que están hoy a nuestra disposición? A fin de cuentas, las redes de información del mundo moderno pueden difundir conocimientos tanto para fabricar armas nucleares y biológicas como para construir placas solares. Seguro que dentro de unos decenios habrá más naciones con armas destructivas y habrá aumentado el número de organizaciones guerrilleras como al Qaeda que se consideren representantes de los humillados y desposeídos. En este punto es difícil hacer predicciones, porque los cambios políticos dependen mucho de las decisiones y los actos de los individuos. ¿Llegarán los gobiernos de los países más ricos a la conclusión de que reduciendo la pobreza del mundo aumentan su propia seguridad? Es posible que fuerzas menos tangibles pero no menos fundamentales inciten a los políticos a solucionar la miseria de los países más pobres del mundo. Las

economías capitalistas necesitan mercados, y ya hemos visto que el capitalismo consumista se diferencia de las formas capitalistas anteriores porque los niveles de producción suben tanto que hay que vender mercancías a la propia fuerza de trabajo, a las clases subordinadas que Marx llamaba proletariado. Las mismas presiones conducirán sin duda con el tiempo al aumento del nivel de vida de las clases subordinadas incluso de los países más pobres del mundo. Y de este modo, conforme el capitalismo mundial va adoptando formas menos depredadoras, puede elevar la calidad de vida fuera del núcleo industrializado. Así, si un capitalismo mundial maduro es capaz de soslayar los peligros del exceso de consumo mundial contra el que nos avisaba Gandhi, es lícito esperar que, aunque las desigualdades relativas sigan aumentando, crezca durante el siglo XXI la calidad material de vida de las clases subordinadas de muchos otros países, y de este modo se generen nuevos mercados y se reduzcan los conflictos políticos y militares mundiales. Por este camino podrían reducirse las formas más degradantes de pobreza, aunque la desigualdad en general está condenada a proseguir mientras el capitalismo siga siendo el principal determinante del cambio económico.

Si en el presente siglo se afrontan con sinceridad los problemas ecológicos y políticos del siglo XX, entonces es posible que las futuras generaciones hereden los beneficios de la revolución moderna. De lo contrario, hay un peligro muy real de que la revolución moderna se descontrolé y desencadene catástrofes militares y ecológicas que legarán a nuestros hijos y nietos un mundo tan degradado como la isla de Pascua, pero con una destrucción a una escala mucho mayor.

EL FUTURO MEDIO: LOS SIGLOS Y MILENIOS QUE VIENEN

Cuando pensamos en futuros más lejanos, por ejemplo en los dos próximos milenarios, el final del cambio histórico aparece tan abierto que nos desborda. Peter Stearns dice muy acertadamente que la «previsión milenaria» es una «equivocación segura^[12]». A esta escala hay tantos futuros alternativos y se presentan con tanta rapidez que cualquier cosa que digamos será una simple conjeta. Además, en la escala de los milenarios, a diferencia de lo que ocurre en la escala de cien años, nuestra capacidad para influir en el futuro se reduce hasta volverse insignificante, así que tenemos menos interés por hacer previsiones.

Cuesta poco imaginar catástrofes producidas por guerras nucleares o biológicas, desastres ecológicos, incluso una colisión con un asteroide de buen tamaño. Si la causa es humana, este final de la historia podría significar que la especie fue demasiado ambiciosa, que lo que a principios del siglo XXI pensábamos que era progreso era en realidad el principio del fin. El mejor símbolo de la ambición y la creatividad humanas sería entonces Ícaro. Tampoco cuesta imaginar futuros utópicos en los que casi todos los problemas del mundo moderno se habrán solucionado, en

los que los humanos habrán aprendido a construir economías ecológicamente sostenibles, en los que se habrán reducido mucho las desigualdades entre los grupos y las regiones, y en los que la capacidad tecnológica humana se empleará para procurar a la mayoría de la población mundial una vida mejor y no una cantidad creciente de bienes materiales. Un futuro así daría la razón a cuantos han visto la historia humana como un camino hacia el progreso.

Sin embargo, los futuros intermedios son a la vez más probables y más difíciles de imaginar. Lo mejor que podemos hacer en este caso es meditar algunas de las tendencias a largo plazo que determinan el mundo moderno y dar por sentado que seguirán vigentes durante algún tiempo.

Si las tendencias demográficas actuales se mantienen durante un siglo o más, el crecimiento demográfico dará un frenazo brusco y a partir de entonces la población se estabilizará o disminuirá, mientras que la longevidad media aumentará. Pero otra tendencia, la innovación tecnológica, no da indicios de ralentizarse. Es posible que al futuro le aguarden eras de estancamiento tecnológico, como ya las hubo en el pasado, pero la explosión actual de creatividad tecnológica parece que tiene cuerda para varios siglos. Con una población estable y un ritmo creciente de innovaciones en tecnología de la información, en ingeniería genética y en el dominio de nuevas fuentes de energía (entre ellas tal vez la fusión del hidrógeno), el aumento de la productividad podría usarse no sólo para mantener los niveles de vida mínimos de una población en crecimiento incesante, sino para elevar el nivel de vida real de todo el mundo. Las tendencias sociales y económicas de los últimos 5000 años no permiten prever para el futuro ninguna reducción significativa de la desigualdad económica y política. Por el contrario, dan a entender que las diferencias económicas se agudizarán y que se ensanchará el abismo entre los más débiles y los más poderosos. Pero, como ya hemos visto, la aparición del capitalismo consumista durante el siglo pasado nos permite pensar que podría subir el nivel de vida de los situados en la base de la curva del enriquecimiento, aunque sólo sea porque los pobres son lo bastante numerosos para constituir mercados interesantes para las economías capitalistas cuya búsqueda de consumidores nuevos se intensifica conforme se estabiliza la población y la productividad sigue creciendo.

Si los obstáculos ambientales no hunden el capitalismo mundial —si, por el contrario, se las arregla para encontrar mercados nuevos vendiendo a pobres y a ricos, buscando el beneficio en una producción ecológicamente sostenible y comerciando más con servicios e información que con productos materiales—, entonces es probable que las transformaciones generadas por las tecnologías se disparen hasta un punto que hoy apenas podemos columbrar. La biotecnología podría inventar nuevas formas de alimentar, vestir y equipar a un mundo de 10 000 o 12 000 millones de habitantes. También podría conseguir que estos habitantes fueran cada vez más longevos y llevaran una vida cada vez más sana. La nanotecnología y una nueva generación de microchips más rápidos podrían rodearnos de robots inteligentes de

todos los tamaños, algunos de los cuales es posible que llegaran a comportarse de manera que fuese difícil distinguirlos de los cerebros humanos. Mientras tanto, las nuevas fuentes energéticas deberían aumentar la energía disponible. Por último, las tecnologías espaciales imaginadas por el maestro de escuela ruso Konstantin Tsiolkovski, que fueron las que permitieron que un humano abandonara la Tierra el 12 de abril de 1961 y que otros humanos aterrizaran en otro cuerpo celeste el 21 de julio de 1969, conducirán sin duda, con el tiempo, a otra fase migratoria de la historia de la especie. En esta fase, el mundo interconectado de nuestros días se fragmentará y volverá a estar organizado en redes regionales independientes. Lo que hace que estas ideas no sean totalmente ciencia ficción es saber que hace 500 años nadie tenía la menor idea de la velocidad y el alcance de las transformaciones que harían de América del Norte, una región de cazadores-recolectores y sociedades con agricultura a pequeña escala, la superpotencia que es en la actualidad.

La colonización de otros mundos podría empezar por la explotación industrial de la Luna, los planetas cercanos y los asteroides. Podría proseguir con la fundación de colonias en algunos planetas del sistema solar. Poner a punto la explotación industrial de asteroides y la colonización de Marte podría tardar menos de un siglo. Un tema ya más sujeto a especulaciones (y más complejo en el plano ético) es hacer planes para la «terrificación» de Marte, es decir, para la modificación de la atmósfera y la temperatura marcianas con objeto de que los humanos y otros organismos terrícolas puedan vivir en aquel planeta^[13]. Ya hay algunos planes en este sentido, pero los cambios en que se basan podrían tardar miles de años en completarse. Si tienen éxito, los humanos habrán aprendido a «domesticar» planetas tal como en otras épocas domesticaron a los grandes herbívoros. Si los humanos acabaran por emigrar de la Tierra en gran número, la historia humana descrita hasta aquí en el presente libro terminará por presentarse simplemente como el capítulo primero de otra historia que en su mayor parte transcurrirá lejos de este planeta. En cierto modo, las migraciones a otros planetas serán como una repetición de las grandes migraciones de la Edad de Piedra, cuyos miembros buscaron nuevos medios primero en África y luego en las tierras inexploradas de Australia, Siberia y América. O quizás fuera mejor compararlas con los grandes viajes marítimos que colonizaron el Pacífico. Pero sobrevivir fuera de la Tierra exigirá la puesta en marcha de todo el ingenio tecnológico de que sean capaces los humanos. Los emigrantes del futuro tendrán que inventar formas de vivir totalmente nuevas, lo más seguro en entornos completamente artificiales. A semejanza de los habitantes de la isla de Pascua, no siempre lo conseguirán. Aunque se queden en nuestra vecina celeste más cercana, la Luna, vivirán en un desierto pelado, sometidos a aterradoras temperaturas extremas, bajo un cielo completamente negro.

Viajar fuera del sistema solar es ya otra historia, por las grandes distancias que hay por medio y por la ley einsteiniana que dice que nada puede viajar más aprisa que la luz^[14]. La luz tarda más de cuatro años en llegar a la estrella más cercana, Próxima

de Centauro, y más de 30 000 años en llegar al centro de nuestra galaxia. En la actualidad no hay nadie que sepa ni por asomo cómo construir una nave espacial que alcance al menos la décima parte de la velocidad de la luz, que es la velocidad mínima capaz de permitir viajes de ida y vuelta de duración inferior a la de la vida humana. En las propuestas más optimistas no se contempla la posibilidad de efectuar tales viajes durante los próximos siglos. Es posible que sea más realista pensar en expediciones colonizadoras cuyo personal, a semejanza de los colonizadores polinesios, no espere volver a casa. Podrían contar con el apoyo de naves mayores y más lentas que podrían tardar cientos de años en llegar al punto de destino. A diferencia de las embarcaciones polinesias, las «arcas espaciales» podrían transformarse en viviendas permanentes, y serían más cómodas y atractivas que cualquier planeta que encontraran por el camino (véase la figura 15.3). En vez de recorrer el universo como lo hacemos actualmente, a bordo de planetas creados por la naturaleza y cuyos movimientos no podemos gobernar, los humanos del futuro podrían viajar en planetas artificiales cuya dirección pudiera variarse. En tal caso, el futuro humano no radicará en la colonización de miles de planetas, sino en la construcción de miles o millones de arcas espaciales que periódicamente aterrizarán en los planetas que más cerca les queden para repostar combustible y reabastecerse de materias primas. Se ha calculado que una serie de expediciones sucesivas de colonizadores interestelares que viajaran a una velocidad relativamente lenta podría tardar cien mil años en llegar a las regiones más lejanas de nuestra galaxia; nuestros conocimientos actuales no nos permiten pensar en viajes a otras galaxias. Pero no habrá arcas espaciales ni siquiera en el futuro inmediato.

Si los humanos viajan fuera del sistema solar, es posible que la sociedad humana vuelva a dividirse en mundos independientes, como las múltiples sociedades del Pacífico, cada una con su historia particular, dado que los contactos serán intermitentes y muy espaciados. Según Arthur C. Clarke: «La limitación de la velocidad de la luz volverá a dividir inevitablemente a la raza humana en comunidades dispersas, aisladas por barreras espacio-temporales. Volveremos a ser como nuestros remotos antepasados, que vivieron en un mundo de distancias inmensas y a menudo insalvables, pues nos adentramos en un universo que es más vasto que todo lo que soñaron^[15]». Si la división dura lo suficiente, las redes que han unido a los humanos durante casi toda su historia acabarán por deshilacharse. Las redes culturales serán las primeras en cerrarse, los vínculos genéticos que definen la unidad de la especie se debilitarán y en cierto momento se romperán. Los humanos, como los pinzones de las islas Galápagos, evolucionarán y darán lugar a especies nuevas y divergentes, cada una adaptada a un medio local concreto.

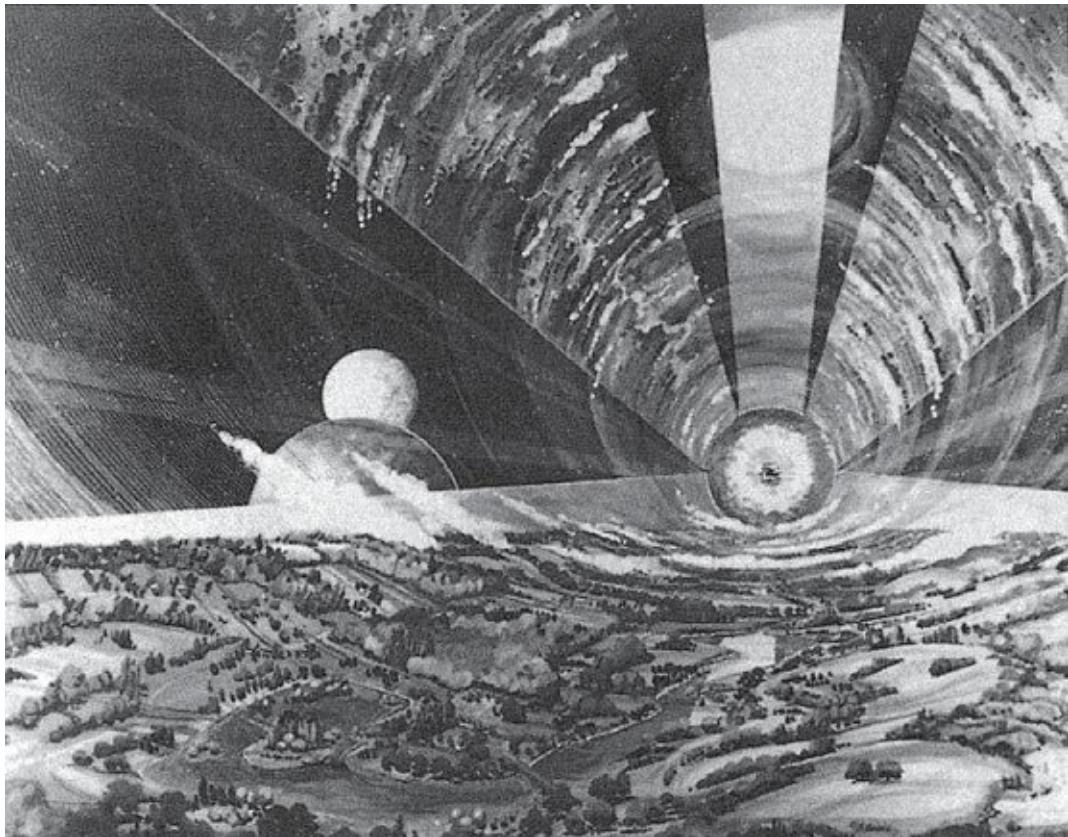


FIGURA 15.3. Posible imagen de una colonia espacial. ¿Será cósmico el futuro de los humanos? ¿Vivirá así la mayoría dentro de dos o tres siglos? ¿Repetirán los humanos las épicas migraciones del Paleolítico, pero a la escala del sistema solar o del espacio interestelar? La ilustración se basa en ciertas ideas del físico de Princeton Gerard K. O'Neill en los años setenta y ochenta sobre la exploración del sistema solar a bordo de una colonia espacial. Cada cilindro tendría a lo sumo 30 kilómetros de longitud y podría albergar a miles o cientos de miles de personas. Cada una de las tres franjas («campos») tendría luz solar durante un tercio del «día» colonial. Tomado de Nikos Prantzos, *Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, p. 42.

Colonicen o no los humanos otros mundos, la evolución es inevitable. Pocas especies de mamíferos viven más de unos cuantos millones de años sin producir especies nuevas. La especie humana es muy reciente y tiene un futuro potencial de cientos de miles, quizás de millones de años. Pero las tecnologías genéticas modernas podrían permitir dentro de poco la manipulación consciente del paquete genético humano. Gracias a la descodificación del genoma a finales del siglo XX conocemos ya nuestro organigrama, aunque no todos los intrincados caminos por los que unas partes del organigrama se relacionan con otras. Por lo tanto, es muy probable que los humanos, en los próximos siglos, intervengan genéticamente en su propio cuerpo, sin esperar a que los lentos procesos de la selección natural cumplan su cometido^[16]. ¿Tendrá sentido pensar entonces que tales personas somos *nosotros* o que son *nuestros* descendientes?

¿Conocerán estos descendientes alguna vez a otros seres inteligentes e interconectados? Hay poderosos motivos para creer que no, por lo menos dentro de nuestra galaxia. La observación de los planetas de estrellas próximas y el hallazgo de organismos vivos en ambientes que hasta entonces se creían totalmente inhabitables

—como chimeneas de volcanes submarinos y núcleos helados de las piedras— indican que la vida podría ser muy común, por lo menos allí donde hay estrellas y planetas. Además, la rapidez con que aparecieron en la Tierra las primeras formas de vida nos da a entender que ésta puede formarse pronto donde hay condiciones idóneas. Pero parece que las formas de vida inteligente, capaces de intercambiar información como los humanos, son un fenómeno más bien inusual. Tuvieron que transcurrir 4000 millones de años para que aparecieran en nuestro planeta criaturas interconectadas de cerebro grande, y aun así fue un proceso poco seguro que habría podido tardar más; parece que los caminos evolutivos que conducen al cerebro grande son muy estrechos. Así pues, no hay ninguna certeza de que aparezca otra especie como la nuestra, ni siquiera después de períodos muy largos. Además, si fuera común la existencia de criaturas inteligentes que intercambian información, no deja de ser desconcertante que no tengamos ningún indicio de ellas. Encontrándose el físico Enrico Fermi de visita en Los Álamos en 1950 planteó el asunto con una pregunta muy sencilla: «¿Dónde están?». Si las especies inteligentes fueran un fenómeno común, tendría que haber muchas comunidades inteligentes e interconectadas, con tecnología mucho más avanzada que la nuestra, y ya deberíamos habernos cruzado con señales procedentes de *algunas*^[17]. Si los humanos llegan alguna vez a los planetas de las estrellas próximas, es posible que, a semejanza de los navegantes polinesios que se adentraron en el Pacífico, descubran que no hay criaturas tan complejas ni tan tecnológicamente avanzadas como nosotros.

Pero estamos especulando demasiado, cosa por lo demás inevitable cuando hacemos conjeturas sobre cómo serán las sociedades humanas dentro de un milenio. Comprenderemos hasta qué punto son especulativas estas ideas si recordamos que los dinosaurios parecían ser un grupo floreciente hasta que un asteroide que cayó en la Tierra hace 65 millones de años acabó con todos.

EL FUTURO LEJANO: FUTURO DEL SISTEMA SOLAR, LA GALAXIA Y EL UNIVERSO

Por extraño que parezca, la incertidumbre se despeja cuando pasamos a las escalas mayores, dado que los astrónomos trabajan con objetos más grandes pero más sencillos que los de los historiadores, objetos que cambian muy despacio en el transcurso de períodos larguísimos. Los astrónomos están convencidos de que saben bastante bien lo que aguarda a los planetas y a las estrellas, e incluso al mismo universo.

La suerte final de la biosfera está determinada por la evolución de la Tierra y el Sol. Éstos son sistemas más grandes, pero más sencillos que la biosfera y la sociedad humana, lo que quiere decir que su evolución futura es más previsible. El Sol va por la mitad del camino de su vida y aún tiene otros 4000 millones de años por delante. Pero la vida en la Tierra se extinguirá mucho antes de que se apague el Sol.

Conforme envejezca, el Sol se irá calentando hasta que al final también subirá la temperatura de la superficie de la Tierra. La biosfera podría amortiguar las consecuencias durante un tiempo, pero los organismos que todavía viven en la Tierra al final se quedarán sin opciones. Dentro de 3000 millones de años la Tierra recibirá tanto calor del Sol como Venus en la actualidad; el agua de los mares romperá a hervir y el vapor que se desprenda contribuirá al calentamiento planetario generalizado. La Tierra se volverá inhabitable^[18] y al final será tan árida y estéril como la Luna.

Cuando el Sol quemé todo su hidrógeno, se volverá inestable. Expulsará materia de las capas exteriores y el núcleo, sometido ya a menos presión, crecerá hasta alcanzar el lugar donde está hoy la órbita de la Tierra. Sin embargo, gracias a la reducción de la masa y de la atracción gravitatoria del Sol, la Tierra conseguirá desplazarse a otra órbita, a unos 60 millones de kilómetros de distancia. Nikos Prantzos ha descrito el paisaje resultante visto desde la Tierra: «Si un observador pudiera vivir en el horno de la calcinada superficie, con una temperatura cercana a los 2000 grados centígrados, observaría un espectáculo de pesadilla. El disco solar llenaría más de las tres cuartas partes del cielo^[19]». Si alguien estuviera allí para observar la absorción de la Tierra por el Sol, es posible que fuera un habitante de la mitad exterior del sistema solar; los satélites de Júpiter y Saturno, como Titán y Europa, podrían ser habitables durante un tiempo. Cuando el Sol empiece a quemar el helio del núcleo volverá a contraerse, pero sólo durante 100 millones de años. Cuando se quede sin helio, volverá a dilatarse y se pondrá a fabricar oxígeno y carbono. En esta etapa serán ya inhabitables incluso los planetas exteriores. Por último se apagará la fragua del núcleo solar y el astro explotará y se convertirá en una enana blanca: una masa de materia muy brillante y caliente que, como no tendrá motor de calor interno, se apagará y oscurecerá poco a poco, y languidecerá en una existencia futura que durará muchísimo más que su fase de fusión.

Los centenares de miles de millones de estrellas de la Vía Láctea no notarán su desaparición, aunque deberían, dado que será un pequeño anticipo del futuro lejano de la galaxia. Ya se ha gastado el 90 por 100 del material del que se forman las estrellas, de modo que la era de la formación estelar está tocando a su fin. Cesará dentro de unas decenas de miles de millones de años; entonces, cuando empiece la agonía de las estrellas supervivientes, las luces del cielo se oscurecerán y se apagarán. En un universo frío y oscuro, las diferencias de energía no serán lo bastante intensas para crear entidades complejas; la simplicidad del universo aumentará sin cesar y la segunda ley de la termodinámica hará valer su sombría autoridad con efectividad creciente. Pero esto no sucederá ni en seguida ni sin resistencia; las estrellas menores, semejantes a los restos de un ejército guerrillero antaño poderoso, sobrevivirán durante muchos más millones de años de los que tendrá entonces el universo. Luego, dentro de unos cuantos billones de años, también ellas se apagarán y el universo volverá a estar oscuro, como en sus primeros momentos. Pero entonces será un

gigantesco almacén de chatarra cósmica, plagado de objetos fríos y oscuros: enanas marrones, planetas muertos, asteroides, estrellas de neutrones y agujeros negros^[20].

¿Y qué ocurrirá después? No lo sabemos con seguridad, aunque tenemos varios guiones probables. El futuro depende mucho del equilibrio entre la expansión, que tiende a disgregar el universo, y la fuerza de gravedad, que tiende a aglutinarlo. Si hay masa/energía suficiente para frenar totalmente la expansión, entonces, al cabo quizás de unos billones de años, es posible que el universo empiece a contraerse. La fase de contracción no será una simple inversión de la fase expansiva, como algunos han creído hasta hace poco. Incluso llegó a pensarse que después de las grandes contracciones (*big crunches*) habría nuevos *big bangs*, en una sucesión de universos hinchables y deshinchables que algunos ven como una versión moderna de las cosmologías cíclicas, por ejemplo la de los mayas^[21]. Estas ideas incitaron a los astrónomos a elaborar un censo detallado de la cantidad de materia/energía que hay en el universo. Al principio dio la impresión de que no había suficiente para frenar la expansión, pero poco a poco ha ido poniéndose de manifiesto que hay ingentes cantidades de materia o energía que no podemos ver. Y mientras se aplicaban varios métodos indirectos para calcular la cantidad de esta materia oscura, empezó a verse que el equilibrio entre la gravedad y la expansión era extraordinariamente delicado y que sobre el futuro del universo no podía decirse nada con seguridad. En la década de 1990, sin embargo, el descubrimiento de la llamada energía de vacío aportó una solución a la polémica, por un lado porque la energía de vacío podría ser responsable por sí sola de gran parte de la materia/energía que falta, y por el otro porque confirmaba que la expansión del universo no se ralentizaría, sino que aumentaría, pues parece que la energía de vacío acelera ligeramente la velocidad a la que se expande el universo.

Casi todos los astrofísicos creen actualmente que el universo se expandirá hasta el infinito. En la jerga del gremio, es un universo «abierto» y no «cerrado». Según vaya creciendo aumentará el espacio intergaláctico y el universo se volverá más sencillo, más frío y más inhóspito en un lento e infinito proceso de extinción. Los buenos tiempos habrán terminado para siempre. Al reducirse las diferencias de temperatura entre los objetos calientes y fríos, aumentará la entropía y con ella las dificultades para que se formen entidades complejas, aunque la creciente expansión no permitirá que el universo llegue nunca al estado de perfecto equilibrio termodinámico. Conforme el universo vaya envejeciendo, la luz procederá de explosiones ocasionales, cuando bloques de materia fría choquen entre sí al azar y den lugar a nuevas estrellas. Estos faros solitarios acabarán iluminando un gigantesco cementerio galáctico, rodeados por miles de millones de cadáveres estelares. La gravedad impulsará algunos cadáveres hacia los espacios vacíos, donde vivirán solos y alejándose sin cesar de todo lo existente, hasta que al final perezcan en su universo privado. Los cadáveres que hayan quedado en la órbita de las exgalaxias serán agrupados por la gravedad y se fundirán hasta formar gigantescos agujeros negros de

magnitud galáctica. Toda la materia que quede fuera empezará asimismo a desintegrarse, siempre que (como aseguran algunas teorías modernas) los protones no sean eternos. Unos 10^{30} años después del *big bang*, el universo será un lugar frío y oscuro, habitado sólo por agujeros negros y partículas subatómicas errabundas que seguirán trayectorias separadas entre sí por distancias de años luz.

Pero como ya expuso Stephen Hawking en los años setenta, incluso los agujeros negros pierden energía y dentro de inconcebibles cantidades de tiempo también ellos desaparecerán. Morirán por evaporación cuántica, un proceso que durará miles de millones de veces más que todas las eras transcurridas hasta entonces, tanto que cada período de mil millones de años será como un grano de arena en una playa terrestre (véase la tabla 15.1). A estas escalas, y como dice Prantzos, los 10^{30} años que transcurran hasta que los agujeros negros se apoderen del universo «parecerán más breves de lo que hoy nos parece a nosotros el tiempo de Planck^[22]». ¿Qué dejarán tras de sí los agujeros negros? Muy poco: Paul Davies imagina «un puré finísimo de fotones, neutrinos y una cantidad menguante de electrones y positrones, todos alejándose unos de otros muy lentamente. Por lo que sabemos, ya no se producirán más procesos físicos básicos. Ningún acontecimiento trascendente vendrá a turbar la sombría esterilidad de un universo que ha recorrido su camino y afronta el paso a la vida eterna, aunque quizá fuera mejor decir muerte eterna^[23]».

A un observador imaginario que viese la agonía de los últimos agujeros negros los miles de millones de años repasados en el presente libro le parecerán como un destello de creatividad que se produjo al principio del tiempo, una fracción de segundo durante el que energías gigantescas y caóticas desafiaron la segunda ley de la termodinámica y crearon como por arte de magia un ejército de entidades exóticas y complejas que formaron nuestro mundo. Durante aquella fugaz primavera, antes de que se enfriase y se oscureciese, el universo rebosó de creatividad. Y en una oscura galaxia como mínimo apareció una especie interconectada e inteligente que fue capaz de concebir el universo como una unidad y de reconstruir gran parte de su historia^[24].

TABLA 15.1. CRONOLOGÍA DEL FUTURO CÓSMICO EN UN UNIVERSO ABIERTO.

<i>Años transcurridos desde el big bang</i>	<i>Acontecimientos destacados</i>
10^{14}	Casi todas las estrellas han muerto y en el universo abundan los objetos fríos, enanas negras, estrellas de neutrones, planetas/asteroides muertos y agujeros negros estelares; la materia superviviente se disgrega conforme se expande el universo.
10^{20}	Objetos procedentes de las galaxias viajan a la deriva; los que se quedaron se han fundido y formado agujeros negros galácticos
10^{32}	Los protones se han desintegrado y en el universo no queda más que energía, leptones y agujeros negros.
$10^{66}-10^{106}$	Evaporación de los agujeros negros estelares y galácticos.
10^{1500}	Gracias a las tuneladoras cuánticas, la materia que queda se transforma en hierro.
$10^{10^{76}}$	La materia restante se transforma en materia neutrónica, luego en agujeros negros, que se evaporan.

FUENTE: Basado en Nikos Prantzos, *Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 200, p. 263.

Resulta muy tentador creer que este destello de creatividad se produjo para los humanos, que es la explicación última de las teorías que dicen que el mundo fue creado de la nada. La ciencia moderna no tiene ningún motivo para creer en este antropocentrismo. Por el contrario, parece que somos una de las creaciones más exóticas de un universo que está en la fase más juvenil, exuberante y productiva de su larga vida. Aunque ya no nos vemos en el centro del universo ni nos consideramos la causa final de su existencia, hay grandeza de sobra para muchos humanos.

RESUMEN

Predecir el futuro es arriesgado, porque el universo es de naturaleza impredecible. Pero en determinadas situaciones tenemos que intentarlo. Vale la pena meditar sobre lo que sucederá en cien años, porque lo que hagamos hoy repercutirá en la vida de los que habiten el planeta dentro de un siglo. Si nuestras previsiones no se alejan mucho del blanco y obramos guiándonos con inteligencia por ellas, es posible que evitemos alguna catástrofe. Las catástrofes pueden sobrevenir de muchas maneras, por ejemplo pueden adoptar la forma de degradación ecológica grave o de conflictos militares generados por la creciente desigualdad en el acceso a los recursos. Los dos temas están relacionados; y con una gestión inteligente, se podría cambiar el rumbo del mundo y orientarlo hacia una relación más sostenible con el medio, y crear una

economía global que eleve las condiciones de vida de los pobres, aunque siga favoreciendo a los ricos. A la escala de varios siglos se multiplican las posibilidades tan rápidamente que no vale la pena esforzarse por hacer previsiones. Pero hay tendencias a largo plazo, sobre todo en tecnología, que pueden darnos una idea convincente de cómo serán algunos futuros posibles. Los humanos podrían emigrar a otros planetas o satélites del sistema solar, incluso más lejos; y podrían aprender a dominar los procesos genéticos con gran precisión. Pero cualquier predicción concreta que se hiciera podría venirse abajo por culpa de una crisis inesperada, ya la causaran los humanos, la geología o cualquier asteroide que chocara contra nosotros. Las previsiones vuelven a ser más seguras cuando pasamos a las escalas cosmológicas. El Sol y su sistema planetario desaparecerán dentro de 4000 millones de años, pero el universo vivirá mucho más tiempo. Indicios de última hora sugieren que la expansión del universo podría ser infinita. Si es así, podemos servirnos de los conocimientos actuales sobre física de partículas y procesos astronómicos para entender que con la expansión del universo vendrá su desintegración. Desde el punto de vista de un futuro increíblemente lejano, cuando el universo no contenga más que un fino rocío de fotones y partículas, los 13 000 millones de años repasados en este libro parecerán una breve y exuberante primavera.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Peter Sears, *Millennium III, Century xxi* (1996), comenta la historia de la futurología; y Yorick Blumenfeld, ed., *Scanning the Future* (1999), reúne varios ensayos sobre el mismo tema. En *Signs of Life* (2000), Ricard Solé y Brian Goodwin hacen un buen balance de los problemas de la previsión y de la naturaleza de lo impredecible. Entre los títulos más accesibles sobre el futuro ecológico hay que destacar Lester Brown, *Eco-Economía* (2001, una obra duramente criticada en el plano estadístico por Bjørn Lomborg, *El ecologista escéptico*, 2001), y Paul Kennedy, *Hacia el siglo xxi* (1994). El futuro medio está mejor representado en las obras de ficción. *El tercer milenio* (1985), de Brian Stableford y David Langford, es una «historia» fascinante y moderadamente optimista de los próximos mil años, mientras que *Cántico por Leibowitz* (1959), escrita por Walter Miller en plena guerra fría, imagina un futuro en el que la creatividad y el racionalismo sólo consiguen desembocar en holocaustos nucleares periódicos. La ciencia vuelve por sus fueros en escalas mayores aún. Nikos Prantzos, *Our Cosmic Future* (2000), analiza las posibilidades de los viajes espaciales y repasa los futuros cosmológicos más lejanos, al igual que Paul Davis, *Los últimos tres minutos* (1995).

Apéndice 1

TÉCNICAS DE DATACIÓN, CRONOLOGÍAS Y DURACIONES

En el núcleo del mito moderno de la creación, como en cualquier relato, hay un sentido de duración. ¿Cómo se construyó la duración moderna? ¿Y cómo podemos entender sus múltiples escalas?

LA CONSTRUCCIÓN DE UNA DURACIÓN MODERNA

Uno de los rasgos más asombrosos del relato de la creación moderno es que describe con total seguridad acontecimientos que se produjeron miles de millones de años antes de que apareciesen los humanos. Muchos de estos detalles cronológicos no han llamado la atención hasta los últimos decenios, de modo que el sentido de duración que hay detrás de la historia que se cuenta en el presente libro es, en buena medida, de origen reciente. ¿Cómo se ha construido?

La datación no supone un problema importante allí donde hay registros escritos y los historiadores modernos se han basado principalmente en registros de este tipo para construir sus versiones del pasado. Pero las cosas cambian cuando tratamos con períodos fuera de la cronología abarcada por los testimonios escritos. Hace cincuenta años, la construcción de estas duraciones habría sido infinitamente más difícil que en la actualidad. Hasta mediados del siglo xx parecía imposible saber nada con exactitud del pasado más remoto. Éramos capaces de establecer el orden relativo de los acontecimientos (por ejemplo, el orden en el que se habían depositado determinadas capas geológicas), pero parecía que no había forma de establecer la cronología absoluta.

La Biblia fue, en el mundo cristiano, la fuente principal de la cronología antigua hasta el siglo XIX. El momento de la creación se calculaba sumando los años de las generaciones descritas en sus distintos libros. Según estas estimaciones, Dios había creado la Tierra hacía unos seis mil años. En el siglo XVII, como ya se ha señalado en el capítulo 1, un investigador británico llegó a la conclusión de que los humanos habían sido creados a las nueve de la mañana del 23 de octubre de 4004 a. C. Pero ya en el mismo siglo XVII había estudiosos con conocimientos geológicos que consideraban que la Tierra tenía que ser más antigua. Por ejemplo, sabían que ciertos objetos fósiles encontrados en regiones de alta montaña eran restos de peces antiguos, lo que quería decir que aquellas montañas habían emergido de las profundidades marinas. En opinión de estos estudiosos, aquellas transformaciones geológicas habían tardado en producirse más de 6000 años. Los geólogos del siglo XIX se acostumbraron a manejar escalas de tiempo mucho mayores y perfeccionaron la

técnica de establecer cronologías relativas. Eran capaces de decir qué capa geológica se había depositado primero, lo cual les permitía ordenar cronológicamente los fósiles y describir aproximativamente las etapas de la historia de la evolución. Pero al parecer no había forma de establecer cronologías absolutas. William Thompson (lord Kelvin) llevó a cabo un influyente intento de establecer la edad de la Tierra en 1860-1870. Basándose en la suposición de que la Tierra y el Sol habían sido al principio esferas de materia fundida que se habían enfriado hasta alcanzar la temperatura actual, adujo que la Tierra tenía menos de 100 millones de años, probablemente alrededor de 20 millones. Para averiguar la edad de la Tierra y el Sol, calculó el tiempo que habían tardado en enfriarse. Lord Kelvin estaba en un error, ya que desconocía el papel de la radiactividad, que conservaba el calor interior de ambos cuerpos (aunque de diferente modo). En realidad, fue el hallazgo de la radiactividad lo que al final permitió dar una cronología absoluta al moderno relato de la creación^[1].

La datación radiométrica se sirve de un rasgo común a todos los materiales radiactivos, entre ellos muchos isótopos de elementos químicos normalmente estables, como el carbono^[2]. Los átomos de muchos elementos radiactivos contienen una elevada cantidad de protones y neutrones. Como los protones tienen carga eléctrica positiva, se repelen; cuantos más se apelotonen en un núcleo, mayor será la fuerza de repulsión. Con el tiempo, estas fuerzas de repulsión pueden minar la fuerza nuclear fuerte, que es la que aglutina el núcleo; por este motivo, los núcleos grandes suelen ser más frágiles que los pequeños. Pero incluso los más pequeños pueden volverse inestables en determinadas configuraciones. El núcleo de los elementos radiactivos empieza a desintegrarse sin más, de manera periódica. Expulsa pequeñas cantidades de protones y neutrones y en ocasiones un electrón o un positrón; al hacerlo, cambia de naturaleza y pasa a ser otro elemento. Este proceso, llamado *desintegración radiactiva*, prosigue hasta que el átomo original, tras varias etapas radiactivas, pasa a ser un elemento estable, por ejemplo el plomo. Esta desintegración se produce con una gran regularidad estadística; aunque no podemos saber cuándo se descompondrá un núcleo concreto (como no podemos saber si saldrá cara o cruz cuando lanzamos una moneda al aire), podemos calcular con gran precisión el comportamiento de muchos fenómenos radiactivos. Por ejemplo, podemos calcular la rapidez con que se desintegrará cierta cantidad de materia. Esta rapidez se calcula normalmente midiendo la *vida media*. Por ejemplo, la vida media del uranio 238 (el isótopo más corriente que tiene el uranio) es de unos 4500 millones de años, algo menos que la edad de la Tierra. Esto significa que si nos cae en las manos un fragmento de uranio 238 recién formado (por ejemplo, en una supernova), la mitad del mismo se habrá convertido en otros elementos dentro de 4500 millones de años. (El hecho de que haya en la Tierra tanto uranio con una antigüedad de 4560 millones de años induce a sospechar que se formó una supernova en nuestro rincón de la galaxia poco antes de la aparición del sistema solar). La vida media de los elementos

radiactivos depende del elemento en cuestión. Por ejemplo, la vida media del carbono 14 (un isótopo poco frecuente) es 5715 años, y éste es el método que utilizan los arqueólogos para datar objetos que tengan a lo sumo unos 40 000 años de antigüedad^[3]. Cuando se trata de objetos más antiguos, el carbono 14 que queda en ellos es muy escaso para analizarlo debidamente y produce resultados anómalos; en consecuencia, hay que recurrir a otros métodos.

La regularidad estadística de la desintegración radiactiva nos permite calcular cuándo se formó un fragmento concreto de material radiactivo. Gracias a estas técnicas sabemos, por ejemplo, que la Tierra se formó hace 4560 millones de años y que el Cámbrico duró desde hace 570 hasta hace 510 millones de años. Los detalles técnicos son complejos, pero el principio general es sencillo. Tomamos un fragmento de material radiactivo y calculamos la parte que se ha descompuesto en otros elementos, y con este resultado podemos averiguar la antigüedad del material. Siempre hay cierto margen de error en estos cálculos, pero se conoce con bastante precisión la magnitud de este margen. Los principios de la datación radiométrica fueron descubiertos en Estados Unidos por Willard Libby en los años cincuenta. Desde entonces se ha perfeccionado mucho la técnica. Gracias a este método, los arqueólogos, geólogos, paleontólogos y astrónomos han podido establecer, desde mediados del siglo xx, la exacta cronología absoluta de muchos acontecimientos importantes del pasado más remoto de nuestro planeta y del sistema solar. De la datación radiométrica proceden muchas fechas importantes para la duración moderna.

La datación molecular es una técnica más reciente. Se inventó en los años ochenta y se emplea sobre todo para determinar la distancia evolutiva entre dos especies relacionadas (véase el capítulo 6). Primero se compara el material genético (por ejemplo, el ADN) de dos organismos y luego se calculan las diferencias que hay entre ambos. Después de hacer muchas comparaciones se ha llegado a la conclusión de que gran parte del cambio genético es estadísticamente aleatorio; así, a semejanza de la descomposición del material radiactivo, es como una especie de reloj. Los científicos utilizaron por primera vez los relojes moleculares para saber cuándo se separaron las líneas humana y simia; el resultado fue sensacional, porque las líneas se separaron hace sólo entre 5 y 7 millones de años. La rápida admisión de esta cronología entre los paleontólogos repercutió en beneficio de la credibilidad de la técnica, que actualmente se emplea para fechar muchos otros procesos, como las migraciones humanas a diferentes partes del mundo.

El *big bang* plantea sus propios problemas cronológicos. Edwin Hubble demostró que el universo se estaba expandiendo y además que, en principio, era posible calcular la velocidad de expansión. Primero tuvo que determinar la distancia que había entre las galaxias y la velocidad a la que se separaban. Ninguno de los dos cometidos fue fácil y el problema se complicó porque es muy probable que, con el tiempo, la velocidad de expansión haya cambiado y que haya sufrido la influencia de la gravedad, o tal vez (como sugieren ciertos estudios recientes) la de alguna forma

de «energía de vacío». Las primeras operaciones que hizo Hubble para averiguar la velocidad de expansión (la constante de Hubble) le indicaron que el universo tenía sólo 2000 millones de años de antigüedad, cifra claramente insostenible porque se pensaba que la Tierra tenía por lo menos una antigüedad de 4500 millones de años. Los cálculos modernos dicen que el universo se originó hace unos 13 000 millones de años. Esta cronología es compatible con la de las estrellas más antiguas que se conocen (de unos 12 000 millones de años) y con la inexistencia de fechas radiométricas más antiguas. Los estudios más recientes, basados en indicios publicados en 2003 y recogidos por la sonda WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), dan la cantidad exacta de años transcurridos desde el *big bang*, 13 700 millones. Los mismos estudios dan a entender que las primeras estrellas se encendieron sólo 200 millones de años más tarde, así que no es de extrañar que la edad atribuida a las estrellas más antiguas se acerque peligrosamente a veces a la edad que se atribuye al universo.

PARA COMPRENDER LAS ESCALAS TEMPORALES GRANDES

Entender las escalas del moderno mito de la creación es muy difícil para los no acostumbrados a tratar con escalas temporales grandes. Pero no es un problema exclusivo del relato moderno de la creación. Ciertas cronologías hindúes y budistas relativas a la historia del universo son más desmesuradas que las de la ciencia moderna.

Imaginad, oh monjes —dijo el Buda a sus seguidores en cierta ocasión—, una roca grande y sólida, de un kilómetro de longitud, otro de anchura y otro de altura, sin ninguna fisura ni defecto. Cada mil años se acerca un hombre y la frota con un paño de seda. Esa roca acabaría por gastarse y desaparecer antes de que transcurriera un período [*kalpa*] del mundo. Pues bien, oh monjes, han transcurrido ya muchos períodos del mundo, muchos centenares, muchos millares, muchas centenas de millares^[4].

Para entender realmente la escala del mito moderno de la creación tenemos que esforzarnos por imaginar algo parecido. En el presente apéndice se comentan varias duraciones que podrían servir al lector para familiarizarse con las escalas temporales del moderno relato de la creación.

En las primeras partes del libro hay fechas que toman por referencia el presente. Por ejemplo, el universo se originó probablemente hace unos 13 000 millones de años, y la Tierra hace alrededor de 4600 millones, mientras que los indicios más antiguos de la existencia de organismos policelulares son de hace unos 600 millones de años y los restos óseos de homíninos (los primates bípedos de los que descienden los humanos actuales) más antiguos que conocemos son de hace alrededor de 4 millones de años (aunque los hallazgos más recientes aconsejan retroceder a una antigüedad de 6 millones). Conforme nos acercamos a la era de la historia humana adoptamos un lenguaje más formal y recurrimos a la terminología de los arqueólogos,

que hablan de años a. p. (antes del presente). En puridad, estas fechas, cuando se basan en dataciones radiométricas, deben entenderse «antes de 1950». Para los datos de antigüedad inferior a 5000 años me he servido de referencias más conocidas, como a. C. (antes de Cristo) y d. C. (después de Cristo). Para traducir cantidades a. p., a cantidades a. C. basta restar 2000 años a aquéllas. Da lo mismo poner 5000 a. p. que 3000 a. C.

Lo que sigue es un resumen esquemático del relato moderno de la creación, con tres cronologías que podrían ayudar al lector a seguir la vasta escala cronológica de este libro. Dispersas por sus capítulos hay ocho duraciones a diferentes escalas que también podrían servir al lector para familiarizarse con las muchas escalas temporales de la historia que contamos.

El argumento básico de la historia

Lo que sigue es un resumen como cualquier otro de la historia que cuenta este libro.

Hace 13 000 millones de años no había nada. Ni siquiera había vacío. No existían el tiempo ni el espacio. En esta nada se produjo de pronto una explosión y en una fracción de segundo aparecieron cosas. El universo primitivo tenía una temperatura altísima, era una nube achicharrada de energía y materia, muchísimo más caliente que el núcleo del Sol. Durante una billonésima de segundo se expandió a una velocidad superior a la de la luz y de tener el tamaño de un átomo pasó a tener el de una galaxia. La velocidad de expansión se redujo, pero el universo siguió expandiéndose y aún se expande en nuestros días. Al dilatarse el universo, su temperatura descendió. Al cabo de unos 300 000 años estaba lo bastante frío para que se formaran átomos de hidrógeno y helio. En el curso de unos mil millones de años se formaron nubes gigantescas de hidrógeno y helio que acabaron comprimiéndose bajo la acción de la gravedad. Al aumentar la temperatura en el centro de estas nubes, los átomos se fundieron con gran violencia, como si fueran bombas nucleares, y entonces se encendieron las primeras estrellas. Aparecieron cientos de miles de millones, agrupadas en esas vastas comunidades que llamamos *galaxias*. El joven universo consistía en poco más que hidrógeno y helio, pero en el interior de las estrellas, y durante la brutal agonía de las estrellas grandes, se formaron otros elementos. Y con el tiempo aparecieron en el espacio interestelar elementos más complejos. El Sol se formó hace alrededor de 4500 millones de años a partir de una nube de gas y materia que contenía muchos elementos nuevos, además de hidrógeno y helio. Los planetas de nuestro sistema se formaron al mismo tiempo que el Sol, de los escombros que se desecharon durante la formación del astro.

La Tierra primitiva era un lugar peligroso, bombardeado por meteoritos y tan caliente que gran parte del planeta era como lava fundida. Al cabo de mil millones de

años se enfrió, y mientras se enfriaba, llovió tan abundantemente que se formaron los primeros mares. Hace unos 3500 millones de años aparecieron formas simples de vida a consecuencia de complejas reacciones químicas que probablemente tuvieron lugar en volcanes de las profundidades marinas. En el curso de los 3500 millones de años siguientes, aquellos sencillos organismos unicelulares se diversificaron de manera creciente, evolucionando por selección natural. Ya en los comienzos hubo algunos organismos que aprendieron a extraer energía del Sol por medio de la fotosíntesis. Cuando otros organismos empezaron a alimentarse de los fotosintetizadores, el Sol pasó a ser la principal «batería» de la vida en la Tierra. Nutridos por el Sol, los organismos vivos se dispersaron por los mares y finalmente por la tierra sólida, creando así una interconexión biológica que afectó poderosamente a la atmósfera, a la tierra y al mar. Hace unos 600 millones de años aparecieron organismos mayores, formados por miles de millones de células. Nuestra especie apareció hace sólo 250 000 años; descendía de criaturas simiescas y había evolucionado en virtud de los inescrutables procesos de la selección natural.

Aunque evolucionaron del mismo modo que otros animales, los humanos fueron insólitamente hábiles a la hora de extraer recursos del medio. Su ventaja era que podían transmitir ideas e información con una exactitud que ningún otro animal igualaba. Y con el tiempo, el conocimiento común se acumuló y las generaciones pudieron basarse en el conocimiento de sus antepasados. Los humanos aprendieron a vivir en medios muy diversos y su número aumentó; primero habitaron en África, luego en Eurasia, en Australia, en América, y finalmente en la miríada de islas del Pacífico. Estas migraciones tardaron en completarse decenas de miles de años. Con el tiempo, y de esto hace sólo diez mil años, los humanos de ciertas partes del mundo supieron manipular su entorno con tanta eficacia que consiguieron que una misma extensión de tierra produjera crecientes cantidades de alimento. Gracias al uso del conjunto de tecnologías que llamamos agricultura empezaron a hacerse sedentarios y a establecerse en pequeñas comunidades aldeanas. Con el aumento de la población, crecieron también el número y el tamaño de las aldeas, hasta que aparecieron las primeras ciudades, hace unos 5000 años. Estas grandes y densas poblaciones necesitaron formas de organización nuevas y complejas para impedir conflictos y coordinar las actividades de mucha gente que vivía en puntos cercanos. Así aparecieron los primeros estados, grupos de individuos poderosos y capaces de regular las actividades del conjunto de la comunidad. Conforme los grupos competían por los recursos y el poder estallaban conflictos dentro de las comunidades y entre ellas. Pero como las comunidades también intercambiaban información, siguieron acumulándose los recursos tecnológicos accesibles al conjunto de la humanidad. Con el paso de los milenios aumentaron el tamaño, el alcance y la población de las sociedades con estado, hasta que casi todos los humanos acabaron por vivir en sociedades con estado, ciudades y alguna forma de agricultura. Con el aumento de la población y de las habilidades tecnológicas se intensificó igualmente su impacto

sobre la biosfera, la comunidad de todos los organismos vivos de la Tierra. El impacto de ciertas actividades, como el riego o la deforestación, fue tan perjudicial en algunas regiones que el medio local no pudo alimentar ya a la población que dependía de él y se vinieron abajo civilizaciones enteras.

Con la mejora de las tecnologías de la comunicación y el transporte aumentaron las relaciones e interrelaciones de las comunidades. La interconexión de todas las comunidades del mundo se produjo hace unos 500 años. Para muchas comunidades fue un acontecimiento catastrófico; acarreó conquistas, enfermedades y explotación, a veces del tipo más brutal. Pero la fusión de las comunidades regionales sirvió también para precipitar adelantos tecnológicos que ahora podían llegar a todo el mundo. En los dos últimos siglos, las nuevas tecnologías, la primera de las cuales fue el control de la energía calórica, han permitido que las sociedades humanas tengan acceso a los inmensos depósitos de energía concentrados en combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. Desde entonces las sociedades humanas han crecido más rápidamente que nunca, y la necesidad de administrar estas vastas y crecientes comunidades y de solucionar sus conflictos ha exigido la fundación de sistemas estatales más poderosos y complejos. La población humana es hoy tan elevada y su impacto en la biosfera es tan trascendente que corremos un peligro muy real de dañar seriamente el medio en que vivimos. Un daño así podría traducirse en un hundimiento global de las civilizaciones humanas y tener efectos devastadores en otros organismos. Sin embargo, la capacidad de los humanos para intercambiar conocimientos también es hoy mayor que nunca y es posible que con otras tecnologías y otras formas de organizarse las sociedades humanas consigamos sortear los peligros creados por nuestro virtuosismo ecológico.

Cronologías del tiempo total

Las fechas de la primera cronología son aproximadas. Éstas abarcan cambios y transiciones fundamentales explicados en el texto.

Historia del universo hasta la formación del Sol (desde hace 13 000 millones de años hasta hace 4500 millones).

- Hace unos 13 000 millones de años: el *big bang*, origen del universo; éste se expande hasta tener el tamaño de una galaxia; en los siguientes segundos se producen muchos acontecimientos fundamentales; en el primer segundo aparecen protones y electrones.
- Unos 300 000 años después: el universo se ha enfriado y ahora tiene unos cuantos miles de grados centígrados, los protones capturan electrones y forman los primeros átomos (de carga eléctrica neutra), de hidrógeno y

helio; se libera la radiación cósmica de fondo (RCF) conforme el universo se vuelve eléctricamente neutro (el descubrimiento de la RCF en 1964 permitió el reconocimiento general de la teoría del *big bang* sobre el origen del universo).

- Unos 1000 millones de años después del *big bang*: se encienden las primeras estrellas al fundirse los átomos de hidrógeno, sometidos a la presión de la gravedad, y formar átomos de helio en el centro de vastas nubes de gas; miles de millones de estrellas se agrupan en galaxias; se forman nuevos elementos en el interior de las estrellas (todos los elementos hasta el hierro, que tiene 26 protones) o en las gigantescas explosiones, llamadas *supernovas*, de estrellas agonizantes (todos los elementos hasta el uranio, que tiene 92 protones).
- Hace unos 4600 millones de años: se forman el Sol, la Tierra y todo nuestro sistema planetario a partir de nubes de polvo estelar que contienen los desechos de estrellas más antiguas.

Historia de la Tierra y de la vida (desde hace 4500 millones de años).

- Hace unos 3500 millones de años: aparecen los primeros organismos vivos en la Tierra; el ADN es la base de la reproducción y sigue presente en todas las células de todos los seres vivos (se reproduce copiándose casi con exactitud matemática; el cambio y la evolución son posibles porque las copias no son totalmente exactas y cuando las copias imperfectas sobreviven, sus descendientes acaban formando otra especie); la vida primitiva se limitaba a los procariotas, que eran poco más que hilachas de ADN flotando dentro de una funda de protección o *célula*; las células fotosintetizadoras aprovechan la energía solar y producen oxígeno.
- Hace unos 2500 millones de años: el oxígeno libre, producido por los organismos fotosintetizadores, empieza a cambiar la atmósfera de la Tierra.
- Hace unos 1500 millones de años: aparecen las primeras células complejas o eucariotas; en su núcleo hay ADN y orgánulos complejos (todas las formas complejas de vida proceden de los eucariotas); agrupaciones de células se unen en grandes colonias y forman los primeros organismos policelulares; con la reproducción sexual, en la que dos organismos no del todo idénticos intercambian su ADN y forman otro organismo, distinto de los progenitores, se acelera el ritmo del cambio.
- Hace unos 600 millones de años: a esta fecha se remontan los fósiles más antiguos de los seres policelulares grandes que aparecieron en el período cámbrico; la formación de una capa de ozono, con el oxígeno de las capas altas de la atmósfera, facilita la evolución de la vida en la Tierra, ya que protege la superficie de la peligrosa radiación ultravioleta del Sol, pero deja

pasar el calor y la luz; la vida se extiende por la tierra sólida y el aire, mientras se multiplica y diversifica en el mar.

- Hace unos 65 millones de años: extinción de los dinosaurios, probablemente a consecuencia del impacto de un asteroide, que produjo unos efectos comparables a los de una guerra nuclear; los mamíferos sustituyen a los dinosaurios en el papel de animales terrestres dominantes; aparecen los primeros primates, mamíferos arborícolas con cerebro grande, manos hábiles y visión estereoscópica.

Período Paleolítico de la historia humana (desde hace unos 7 millones de años hasta hace aproximadamente 10 000).

- Hace unos 7 millones de años: aparecen los primeros homíninos, descendientes de simios y caracterizados por la bipedación.
- Hace unos 4 millones de años: aparecen los australopitecos.
- Hace aproximadamente 2-1,5 millones de años: aparece *Homo habilis*, primer miembro de nuestro género.
- Hace aproximadamente 1,8 millones de años: aparición de *Homo ergaster/erectus*.
- Hace aproximadamente 1 millón de años: miembros de la especie *Homo erectus* emigran hacia Eurasia meridional.
- Hace aproximadamente 250 000 años: aparecen los primeros humanos modernos, sin duda con lenguaje totalmente desarrollado: es *Homo sapiens*.
- Hace unos 100 000 años: los humanos modernos se adentran en Oriente Próximo, donde probablemente entran en contacto con los neandertales.
- Hace unos 60 000 años: los humanos modernos llegan a Sahul/Australia.
- Hace unos 25 000 años: los humanos modernos llegan a Siberia; se extinguen los neandertales, últimos representantes de los homíninos no humanos.
- Hace unos 13 000 años: primeros indicios de colonización en América, a través del estrecho de Bering.

Período Holoceno de la historia humana (los últimos 10 000 años).

- Hace aproximadamente 10 000-5000 años: termina la última glaciación; tecnologías cazadoras-recolectoras intensivas, aparecen algunas sociedades sedentarias con formas primitivas de agricultura; la población aumenta rápidamente; primeros indicios de complejidad y jerarquía cuando las comunidades grandes exigen formas de organización nuevas y más complejas.

- Hace unos 5000 años: aparición de las ciudades, los estados y las civilizaciones agrarias; grupos privilegiados con mucho poder controlan los recursos mediante la exacción tributaria; estos grupos organizan la guerra, las religiones a gran escala y la construcción de monumentos; invención de la escritura; las civilizaciones agrarias se expanden y pasan a ser las comunidades más pobladas y poderosas.

Era moderna (entre los últimos 500 años y el futuro).

- Hace unos 500 años: conexión de Afroeurasia y América, formándose así la «zona mundial» más grande del planeta; se crea el primer sistema global de intercambio.
- Hace unos 200 años: aparecen las primeras sociedades capitalistas en Europa occidental; la revolución industrial aprovecha combustibles fósiles; fuerte aumento del poder, la riqueza y la influencia de los estados europeos; el imperialismo europeo domina el planeta.
- Hace unos 100 años: la revolución industrial se difunde por doquier; estallan conflictos entre los principales estados capitalistas; se produce un violento contragolpe comunista.
- Hace unos 50 años: se emplea por primera vez un arma nuclear (los humanos aprenden a utilizar la fuerza explosiva del origen del universo y se ponen en peligro de destruirse a sí mismos y a los demás seres de la biosfera).
- Dentro de unos 4000-5000 millones de años: el Sol empieza a apagarse.
- Dentro de muchos miles de millones de años: el universo se desintegra y queda en un estado de equilibrio amorfo.

Trece mil millones de años en trece años

Esta otra cronología abarca también 13 000 millones de años, pero comprime las escalas temporales de la cosmología moderna dividiéndolas por mil millones y reduciendo 13 000 millones de años a 13. Es posible que de este modo se aprecien mejor las diferencias fundamentales entre las distintas escalas temporales.

Historia del universo hasta la formación del Sol (desde hace 13 años hasta hace aproximadamente 4,5).

- Hace unos 13 años: se produce el *big bang*.
- Hace unos 12 años: aparecen las estrellas y las galaxias.
- Hace unos 4,5 años: se forman el Sol y su sistema planetario.

Historia de la Tierra y de la vida (desde hace 4 años hasta hace aproximadamente 3 semanas).

- Hace alrededor de 4 años: aparecen los primeros organismos vivos.
- Hace unos 7 meses: aparecen los primeros organismos policelulares.
- Hace unos 3 meses: se forma Pangea.
- Hace unas tres semanas: el impacto de un meteorito causa la extinción de los dinosaurios; los mamíferos prosperan.

Período Paleolítico de la historia humana (desde hace 3 días hasta hace 6 minutos).

- Hace unos 3 días: aparecen los homíninos en África.
- Hace unos 50 minutos: aparece *Homo sapiens* en África.
- Hace unos 26 minutos: los humanos llegan a Papúa Nueva Guinea y Australia.
- Hace unos 6 minutos: los humanos llegan a América.

Período Holoceno de la historia humana (desde hace 6 minutos hasta hace 15 segundos).

- Hace unos 5 minutos: primeras comunidades agrarias.
- Hace unos 3 minutos: primeras civilizaciones urbanas alfabetizadas.
- Hace alrededor de 1 minuto: civilizaciones clásicas de China, Persia, India y el Mediterráneo; primeras civilizaciones agrarias de América.
- Hace unos 24 segundos: breve unificación de Eurasia durante el imperio mongol; Peste Negra.

Era Moderna (los últimos 15 segundos).

- Hace unos 15 segundos: las comunidades humanas se unen en un solo «sistema mundial».
- Hace unos 6 segundos: revolución industrial.
- Hace unos 6 segundos: la revolución industrial se difunde por Europa.
- Hace unos 2 segundos: estalla la primera guerra mundial.
- Último segundo: la población humana aumenta a 5000 y luego a 6000 millones; uso de las primeras armas atómicas; los humanos llegan a la Luna; se produce la revolución electrónica.

Así pues, al cabo de 13 años, el universo tendría 13 años de edad y la Tierra menos de 5. Los organismos policelulares complejos tendrían unos 7 meses, los homíninos sólo 3 días y nuestra especie, *Homo sapiens*, no más de 50 minutos. Las

sociedades agrarias habrían durado 5 minutos y la historia escrita de la civilización humana tendría 3 minutos en el momento presente. Las civilizaciones industriales modernas, dominantes en el mundo actual, tendrían 6 segundos.

La escala geológica

Los estudiantes de geología reconocerán la tercera cronología. Es la escala temporal geológica. Los interesados por la gran historia encontrarán referencias a ella, de modo que vale la pena acostumbrarse a sus rasgos principales. La Tabla A1 da una versión muy simplificada.

No hay que preocuparse si las fechas varían ligeramente de una versión a otra; lo que cuenta es el cuadro general.

TABLA A1. LA ESCALA GEOLÓGICA.

Era geológica	Período	Comienzo (años a.p.)	Rasgos principales
Hádico		4.600 mill.	Formación del sistema solar; la Luna; fusión y «diferenciación», rocas más antiguas, primera atmósfera
Arcaico		4.000 mill.	Indicios de vida; procariotas
Proterozoico	Ediacárico	2.500 mill. 590 mill.	Aumenta el oxígeno; eucariotas Primeros organismos policelulares
Paleozoico	Cámbrico Ordovícico Silúrico Devónico Carbonífero Pérmino	570 mill. 510 mill. 439 mill. 409 mill. 363 mill. 290 mill.	Primeros organismos con caparazón Primeros corales y vertebrados Primeros peces óseos, primeros árboles Primeros tiburones y anfibios Primeros reptiles e insectos alados; formación del carbón Extinciones masivas
Mesozoico	Triásico Jurásico Cretácico	250 mill. 208 mill. 146 mill.	Primeros dinosaurios, lagartos y mamíferos Primeras aves Primeras plantas con flores, marsupiales
Cenozoico (Terciario)	Paleoceno Eoceno Oligoceno Mioceno Plioceno Pleistoceno	65 mill. 57 mill. 36 mill. 23 mill. 5,2 mill. 1,6 mill.	Impacto de un asteroide; extinción de los dinosaurios, multiplicación de los mamíferos y de las plantas con flores; primeros primates Primeros simios Primeros hominoideos Separación de las líneas de los simios y los hominoideos Australopitecos, <i>Homo habilis</i> <i>Homo erectus</i> , humanos modernos
(Cuaternario)	Holoceno	10.000	Historia humana posglacial

Apéndice 2 CAOS Y ORDEN

En este apéndice sostengo que hay objetos que aparecen en todas las escalas comentadas en el presente libro. Aunque no es imprescindible para la comprensión de éste, lo que sigue podría aclarar algunos detalles y ayudar al lector a entender mejor los vínculos que hay entre las partes del moderno relato de la creación.

Entre todas las pautas que se forman en las diferentes escalas, la más importante es la existencia misma de las pautas^[1]. Dondequiera que miramos vemos estructuras organizadas, o regímenes. No vemos cabos ni fragmentos aislados, como quien dice interferencias cósmicas; las pautas demasiado elementales y repetitivas tienden a confundirse con el fondo. Lo que percibimos son pautas complejas que combinan la estructura y la diversidad. Éstas son las pautas que destacan sobre un fondo de desorden o de gran simplicidad y las que tienen historia. Si hay leyes generales del cambio histórico, afectan a la formación y evolución de estas pautas.

Vemos estructuras complejas, entre otras cosas porque estamos capacitados para detectarlas. Todos los organismos vivos, para sobrevivir, tienen que cartografiar su entorno. Tienen que ser capaces de percibir los cambios de estación, los movimientos del Sol y la Luna, los movimientos de las víctimas y los depredadores. En consecuencia, tienen que ser detectores de pautas y averiguar cómo los cabos y fragmentos del entorno encajan en formas organizativas mayores y más previsibles. Los humanos no dejan de diferenciar entre las partes del entorno que tienen estructura y las que no. Las estrellas nos interesan por fuerza mucho más que las vastas llanuras de espacio casi vacío que hay entre ellas. Y hemos aprendido a detectar muchas pautas que los sentidos no perciben de manera inmediata, por ejemplo las pautas del tiempo. El orden y el caos determinan todos nuestros esfuerzos por conocer el mundo.

Pero las pautas que detectamos están realmente ahí y su existencia es uno de los grandes misterios del universo. ¿Por qué hay orden? ¿Y qué leyes permiten la formación y evolución de estructuras ordenadas? Crear desorden parece mucho más fácil que crear orden. Pensemos en una baraja. Barajada al azar, a duras penas dará una serie ordenada, por ejemplo los trece corazones seguidos. Y si salen los trece corazones seguidos, la serie se desorganizará en cuanto barajemos un poco. Pero cuando observamos el conjunto del universo encontramos pautas complejas y duraderas a muchas escalas, desde los cúmulos de galaxias que abarcan millones de años luz hasta las complejas estructuras sociales de la historia humana, incluso hasta las pautas, más duraderas, que atrapan a los quarks en las partículas subatómicas que llamamos protones y neutrones.

Muchas religiones explican estas pautas alegando que las entidades complejas como nosotros han sido creadas por un creador inteligente, un dios. Esta solución no

es válida para la ciencia moderna porque se limita a plantear otro problema: cómo se creó el dios en cuestión. ¿Podemos explicar la complejidad sin recurrir a una hipótesis que a su vez plantea más incógnitas? En la actualidad no tenemos todavía una respuesta totalmente satisfactoria; lo que sigue no es más que una serie de tentativas desde el punto de vista moderno.

Si hay algo que salta a la vista es que crear y conservar las pautas requiere un trabajo. Una baraja conoce más estados desordenados que estados ordenados, lo que quiere decir que casi siempre producirá un estado desordenado cada vez que se baraje. El universo parece funcionar así, con una tendencia natural al desorden y el caos. Crear y conservar pautas significa trabajar en contra de esta tendencia al parecer universal hacia el desorden; significa contribuir a que ocurran acontecimientos improbables y a que sigan ocurriendo.

Conocer las pautas significa, pues, saber cuánta energía hay en funcionamiento. Los estudios decimonónicos sobre la eficacia con que se utilizaba la energía de las máquinas de vapor permitieron al ingeniero francés Sadi Carnot llegar a la conclusión de que la energía no desaparece, sino que cambia de forma. Por ejemplo, cuando se utiliza en forma de calor para generar vapor cuya presión pueda generar la energía mecánica de la máquina de vapor, la energía en cuanto tal se conserva. La ley de conservación de la energía se suele llamar *primera ley de la termodinámica*. La *segunda ley de la termodinámica* parece, a simple vista, desmentir la primera, ya que dice que, en un sistema cerrado (el universo parece serlo), la cantidad de energía libre, o energía capaz de producir trabajo, tiende a disiparse con el tiempo. Una cascada puede mover una turbina porque el agua se ha depositado en niveles más altos y la energía utilizada para elevarla (aportada por el Sol, que evaporó el agua y elevó el vapor a las nubes) se recupera cuando llueve. Cuando el agua de la lluvia llega al mar, ya no produce trabajo, porque toda el agua que está al nivel del mar tiene aproximadamente la misma cantidad de energía aprovechable; está en estado de equilibrio termodinámico. La energía libre o aprovechable, la energía capaz de producir trabajo, necesita un gradiente, una pendiente, alguna forma de diferencia. La segunda ley predice que en un sistema cerrado, y después de un tiempo inconcebiblemente largo, todos los diferenciales se reducirán; por lo tanto se reducirán también y de manera creciente las cantidades de energía libre aprovechables para producir el pesado trabajo de crear y conservar entidades complejas. Al parecer, esto significa que el desorden del universo irá en aumento y que al final tenderá al equilibrio termodinámico. En el siglo XIX, para referirse a esta lúgubre idea, se hablaba de la «muerte térmica» del universo. Un científico alemán, Rudolf Clausius, puso el nombre de *entropía* a la creciente cantidad de energía no aprovechable. A larguísimo plazo, por lo que parece, debe aumentar la entropía y reducirse la complejidad^[2]. Al final, todo será ruido de fondo. La segunda ley, por lo visto, da a entender que todo lo que contiene el universo baja en la misma escalera mecánica que conduce al caos.

Estas ideas son fundamentales en la física moderna, pero plantean dos problemas importantes. El primero, ¿cómo es posible el orden? ¿Por qué no estamos en un universo totalmente desordenado en el que la segunda ley haya cumplido su fatídica misión? ¿Nació el universo con unas reservas de energía libre de las que han salido todas las estructuras ordenadas desde entonces? Y si fue así, ¿de dónde salió ese capital energético y hasta cuándo durará? Para crear los gradientes y diferencias que forman y conservan las pautas que vemos a nuestro alrededor tuvo que haber algo (¿o alguien?) que hiciera un poco de ejercicio duro en los primeros momentos el universo^[3]. Si no lo hizo un dios, ¿cómo se produjo? La fuente primera de la energía libre (y en consecuencia del orden) sigue siendo uno de los grandes misterios de la cosmología moderna, porque, por lo que sabemos, el universo primitivo era muy homogéneo.

El universo primitivo era al parecer muy denso y estaba muy caliente, en un estado de equilibrio termodinámico. Pero conforme se expandía se iba enfriando y al enfriarse se rompió su simetría. Fue entonces cuando aparecieron las primeras diferencias, los primeros gradientes de temperatura y presión. Parece que al principio apenas había diferencias entre fuerzas como la electricidad y la gravedad. Al parecer se mezclaban en las violentas energías de un universo denso y caliente casi hasta el infinito. Pero al expandirse y enfriarse, las fuerzas fundamentales se diferenciaron y adoptaron una forma propia. Por ejemplo, antes de que transcurrieran 300 000 años después del *big bang*, la fuerza electromagnética era demasiado débil para unir electrones y protones y formar átomos. Pero después de transcurridos, el universo ya estaba lo bastante frío para que la electricidad se pusiera a tallar las estructuras atómicas que estudian la física y la química modernas. En ese momento también se diferenciaron materia y energía.

Las diferencias, muy pequeñas al principio, fueron multiplicándose conforme el universo se expandía y las fuerzas comenzaban a funcionar según su naturaleza. La gravedad operaba a escalas grandes y daba forma a las grandes estructuras del universo. Como la materia era lenta y pesada, la gravedad podía aglutinarla mejor que la energía, que era ligera y rápida. Así, mientras se separaban la materia y la energía, la gravedad se encargó de moldear la materia en estructuras grandes y complejas; la energía quedó al margen de su influencia, salvo en regiones extremas, como las zonas próximas a los agujeros negros. La gravedad concentró hidrógeno y helio en nubes gigantescas. Luego comprimió las nubes sin parar hasta que subieron la presión y la temperatura, sobre todo en el centro. Cuando los núcleos llegaron a unos 10 millones de grados, empezó la fusión nuclear y hubo estrellas. Las reacciones de fusión que se producían en el centro de todas las estrellas contenían la aplastante fuerza de la gravedad, estableciéndose una especie de tregua cósmica que es la base de todas las estrellas. Una vez creadas, las estrellas produjeron diferenciales de energía estables y duraderos y vinieron a ser depósitos casi inagotables de energía libre o *negentropía*. Las estrellas crearon lugares calientes estables y sembraron de puntos blancos el

universo primitivo que ya se enfriaba. La radiación cósmica de fondo está hoy unos grados por encima del cero absoluto: tal es la temperatura basal del universo. Pero la temperatura del interior de las estrellas tiene que ser enorme para disparar la fusión, y en las estrellas grandes puede llegar muy por encima de los 10 millones de grados. Podían formarse entidades complejas en las zonas próximas a estos tórridos puntos, aprovechando los tremendos diferenciales térmicos entre las estrellas y el espacio cercano, del mismo que la vida en la Tierra apareció alrededor de las chimeneas volcánicas de las profundidades marinas. Como ha dicho Paul Davis: «La materia y la energía, en los sistemas abiertos y alejados del equilibrio, tienden a buscar niveles de organización y complejidad crecientes^[4]».

El diferencial térmico entre el Sol y el espacio que lo rodea aporta la energía libre necesaria para crear en la Tierra casi todas las formas de complejidad, incluidos nosotros; las energías creadas al principio de la historia del sistema solar alimentan la batería calórica del centro de la Tierra que impulsa la tectónica de placas. Estos diferenciales permiten que la energía fluya y los flujos de energía posibilitan las pautas. Y con tiempo suficiente, la sola posibilidad de su aparición permite que al final aparezcan muchas clases de pautas.

Según este razonamiento, la expansión del universo, responsable de que el universo primitivo se enfriara y diversificara, es la causa primera de todos los diferenciales térmicos y de presión, y por lo tanto de la energía libre necesaria para crear orden. Podemos expresarlo de otro modo. En el momento de nacer, el universo era tan pequeño y homogéneo que los estados desordenados posibles eran muy escasos; era como una baraja de una sola carta. La expansión amplió el espacio y creó más posibilidades para el desorden, y estas posibilidades se multiplicaron conforme se fue expandiendo el universo. Por regla general, cuanto mayor es un sistema, mayor es la posible entropía; por continuar con el símil de la baraja, cuantas más cartas tiene ésta, más estados desordenados permite^[5]. Así, mientras que la segunda ley de la termodinámica viene a decírnos que la entropía aumentará siempre, la expansión del universo parece garantizarnos que siempre aparecerán peldaños interpuestos en la escalera termodinámica que baja hacia el desorden total que hay en el fondo. Fuerá cual fuese la causa de la expansión del universo, en cierto modo es también la causa del orden y las formas.

Abordado el primer problema —explicar cómo es posible el orden—, pasemos al segundo: cómo aparecieron las entidades complejas y, una vez aparecidas, cómo se mantuvieron el tiempo suficiente para que las detectáramos (o para que se convirtieran en nosotros). Paradójicamente, la creciente tendencia a la entropía —el movimiento hacia el desorden— podría ser el motor que propicia el orden. Crea orden *mientras* crea desorden. En términos poéticos podríamos concebir el aumento de la entropía como un intento del propio universo de volver al estado primitivo de equilibrio termodinámico; muchos mitos creacionistas hablan asimismo de una ruptura de la unidad original en que las partes separadas tratan de recuperar el estado

primigenio. Una de las explicaciones del amor entre hombres y mujeres que se dan en *El banquete* de Platón es que al principio sólo había seres andróginos a los que los dioses partieron por la mitad, y los esfuerzos de las mitades resultantes por reencontrarse dieron lugar a la especie humana tal como la conocemos hoy. La tendencia al desorden parece crear formas de orden, del mismo modo que la energía del agua que cae puede hacer que el agua rebote y ascienda o del mismo modo que la corriente de un río puede crear remolinos en los que una pequeña parte del agua discurre en sentido contrario al general.

A escala local y a corto plazo, parece que las entidades complejas invierten el funcionamiento de la segunda ley de la termodinámica, aumentando el orden. Pero enfocadas en el contexto del entorno mayor del que extraen energía libre, se ve claramente que en realidad aumentan la entropía al acelerar la transformación de energía libre en formas calóricas no aprovechables. Así pues, podría decirse que la complejidad es, en cierto modo, un astuto mecanismo para que la segunda ley de la termodinámica avance más eficazmente hacia el siniestro objetivo de crear un universo sin orden^[6]. Ilya Prigogine e Isabelle Stengers han aplicado el curioso calificativo de *disipativas* a las estructuras complejas que describimos aquí^[7]. Lo que hacen las estructuras complejas es articular flujos gigantescos de energía y, en el proceso, disipar grandes cantidades de energía libre y por lo tanto aumentar la entropía general. Aunque parecen reducir la entropía temporal y localmente, en realidad generan más entropía que otras estructuras más simples, facilitando así el fatídico funcionamiento de la segunda ley.

Sin embargo, crear orden no es fácil. De un modo u otro hay que concentrar importantes cantidades de energía para que generen bolsas de orden. Los fenómenos complejos necesitan procesar energía continuamente para poder remontar la incontenible fuerza de bajada de la escalera mecánica de la entropía. En tal caso, la existencia de diferenciales estables que garanticen el aporte continuo de energía, como los diferenciales de temperatura y de presión disponibles cerca de las estrellas, es un requisito inexcusable para la existencia de la complejidad. Lo que no sabemos es si hay mecanismos que busquen directamente la complejidad. ¿Atrae directamente hacia ella a la materia y a la energía la presencia de diferenciales y desequilibrios? ¿O simplemente la posibilita? ¿Funciona la complejidad como la selección natural, mediante la generación aleatoria de estructuras que, una vez generadas, consolidan su articulación simplemente porque encajan bien en el medio en que están? ¿O es que la segunda ley crea complejidad por alguna especie de astucia cosmológica propia?

Sea cual sea la causa del orden, en el Sol o en la bolsa, para crearlo es necesario formar estructuras capaces de canalizar y gobernar grandes flujos de energía sin desarticularse. Es un truco muy difícil. Y esta dificultad explica por qué las entidades ordenadas son frágiles y escasas y por qué destacan de un fondo que es mucho más simple. A grandes rasgos, cuanto más complejo es un fenómeno, más densos deben ser los flujos de energía que baraja y más probable es que se desarticulen. Así pues,

es lógico esperar que cuanto más compleja se vuelva una entidad, sea más inestable, dure menos y sea menos habitual. Incluso es posible que un ligero aumento de su complejidad aumente bruscamente su fragilidad y por lo tanto su infrecuencia. Se conocen muchísimas moléculas químicas, pero sólo una fracción diminuta ha conseguido producir organismos vivos; y ha habido muchísimos organismos vivos, pero sólo una fracción más diminuta aún ha dado lugar a una especie inteligente e interconectada como nosotros. (En la tabla 4.1 pueden verse datos más concretos en relación con estas generalizaciones). Pero también salta a la vista que la probabilidad de que existan las entidades complejas aumentaría mucho si en vez de encomendarnos a los cambios aleatorios para que las produzcan por casualidad encontráramos leyes que tendieran directamente a crearlas. No sabemos todavía si existen estas leyes, aunque la joven ciencia de la complejidad se afana por identificarlas.

Lo que sí está en nuestra mano es describir cómo aparecen las estructuras complejas. Parece que la ley básica de la complejidad es que aparezca paso a paso, conectando formas ya existentes con otras mayores y más complejas, a otras escalas. Hecho esto, algunas formas articulan sus elementos en un orden nuevo, más estable y más duradero que el de las pautas organizativas que las crearon, que eran más sencillas. Estos procesos crean la escala de niveles de complejidad que vemos en el universo, porque en cada escala entran en juego otras leyes de construcción y cambio. Estas leyes se denominan propiedades *emergentes*, porque al parecer no se derivan de las propiedades de los elementos iniciales; por el contrario, emergen conforme los elementos constitutivos se articulan en una estructura mayor. La palabra *universo* es una estructura verbal que consta de ocho letras. Pero su significado no se deduce del conocimiento de las letras utilizadas para formarla. Su significado es una propiedad emergente. Por poner un ejemplo de química, las propiedades del agua no se pueden explicar describiendo las propiedades del hidrógeno y el oxígeno, a pesar de que el agua es el resultado de combinar moléculas de hidrógeno y oxígeno. Las propiedades del agua emergen sólo cuando se combinan los átomos de hidrógeno y oxígeno y forman moléculas de agua^[8]. Las mil y una formas de cumplirse estas leyes a diferentes escalas y con diferentes grados de complejidad son tema de estudio de diversas disciplinas de la ciencia moderna. Cada una estudia las leyes que aparecen en distintos niveles de complejidad, desde la física de partículas hasta la historia, pasando por la química, la biología y la ecología.

Dado que somos criaturas complejas, sabemos por experiencia lo que cuesta subir por la escalera de bajada, ir contra la corriente universal hacia el desorden, de manera que es inevitable que nos fascinen todas las entidades que hagan algo parecido. No por otra razón asoma este tema —la conquista del orden a pesar de la segunda ley de la termodinámica y tal vez con su ayuda— en todos los capítulos de la historia que contamos aquí. El vals interminable del caos y la complejidad es uno de sus hilos conductores.

BIBLIOGRAFÍA

Esta bibliografía contiene tres tipos principales de referencias bajo dos apartados. En primer lugar, se incluye un conjunto de textos, valiosos en cuanto que resultan relevantes para conocer algunas secciones de este libro. En segundo lugar, se ofrecen todas las referencias de los textos que aparecen citados en las notas; algunas de estas fuentes son estudios generales y de conjunto y otras son más especializadas. Por último, se proporcionan todas las referencias de las obras citadas como «Lecturas complementarias» al final de cada capítulo. Casi todas ellas son trabajos accesibles para el público en general (aunque no necesariamente sencillos); en su mayoría son sinopsis e introducciones.

OBRAS DE REFERENCIA

- Asimov, Isaac, *Asimov's New Guide to Science*, ed. revisada, Penguin, Harmondsworth, 1987 (hay trad. cast., *Nueva guía de la ciencia*, Plaza & Janés, Barcelona, 1997³).
- , *Beginnings: The Story of Origins-of Mankind, Life, the Earth, the Universe*, Walker, Nueva York, 1987 (hay trad. cast., *Orígenes*, Plaza & Janés, Barcelona, 1992²).
- Barraclough, Geoffrey, ed., *Times Concise Atlas of World History*, Times Books, Londres, 1994⁵ (hay trad. cast., *El mundo: gran atlas de historia*, Ebrisia, Barcelona, 1985).
- Bentley, Jerry H., y Herbert F. Ziegler, *Traditions and Encounters: A Global Perspective on the Past*, 2 vols., McGraw-Hill, Boston, 2003².
- Brown, Lester R., et al., *State of the World, 1995: A Worldwatch Institute Report on Progress toward a Sustainable Society*, Earthscan Publications, Londres, 1995 (hay trad. cast., *El estado del mundo, 1995: un informe del instituto Worldwatch acerca del progreso hacia una sociedad perdurable*, Salamandra, Barcelona, 1995).
- , *State of the World, 1999: A Worldwatch Institute Report on Progress toward a Sustainable Society*, Earthscan Publications, Londres, 1999. [Series comenzadas en 1984]. (Hay trad. cast., *El estado del mundo, 1999: un informe del instituto Worldwatch acerca del progreso hacia una sociedad perdurable*, Icaria, Barcelona, 1999).
- Burenhult, Göran, ed., *The Illustrated History of Humankind*, 5 vols., HarperSanFrancisco, San Francisco, 1993-1994. [Una excelente, actualizada y

- bien ilustrada historia del mundo desde una perspectiva arqueológica].
- Calder, Nigel, *Timescale: An Atlas of the Fourth Dimension*, Chatto and Windus, Londres, 1983. [Notable cronología de todas las épocas, ahora un poco anticuada].
- Cambridge Encyclopedia of Archaeology*, edición de Andrew Sherratt, Cambridge University Press, Cambridge, 1980.
- Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences*, edición de David G. Smith, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- Cambridge Encyclopedia of Human Evolution*, edición de Steven Jones, Robert Martin y David Pilbeam, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- Clark, Robert P., *The Global Imperative. An Interpretive History of the Spread of Humankind*, Westview Press, Boulder, Colo., 1997. [Un intento de teorizar la historia humana, construido con la noción de entropía].
- Cowan, C. Wesley, y Patty Jo Watson, eds., *The Origins of Agriculture: An International Perspective*, Smithsonian Institution Press, Washington, 1992.
- Dunn, Ross E., ed., *The New World History: A Teacher's Companion*, Bedford/St. Martin's, Boston, 2000. [Colección de ensayos sobre la historia del mundo].
- Dunn, Ross E., y David Vigilante, eds., *Bring History Alive! A Sourcebook for Teaching World History*, National Center for History in the Schools, UCLA, Los Ángeles, 1996. [Colección de ensayos recientes sobre la historia del mundo].
- Emiliani, Cesare, *The Scientific Companion: Exploring the Physical World with Facts, Figures and Formulas*, John Wiley, Nueva York, 1995².
- Livi-Bacci, Massimo, *A Concise History of World Population*, traducción de Carl Ipsen, Blackwell, Oxford, 1992 (hay trad. cast., *Historia de la población europea*, Crítica, Barcelona, 1999).
- Manning, Patrick, *Navigating World History: Past, Present, and Future of a Global Field*, Palgrave Macmillan, Basingstoke, 2003.
- Mazlish, Bruce, y Ralph Buultjens, eds., *Conceptualizing Global History*, Westview Press, Boulder, Colo., 1993.
- McEvedy, Colin, y Richard Jones, *Atlas of World Population History*, Penguin, Harmondsworth, 1978.
- Moore, R. L., «World History», en *Companion to Historiography*, edición de Michael Bentley, Routledge, Nueva York, 1997, pp. 941-959.
- Morrison, Philip, y Phylis Morrison, *Powers of Ten: A Book about the Relative Size of Things in the Universe and the Effect of Adding Another Zero*, Scientific American Library, Redding, Conn., San Francisco, dist. por W. H. Freeman, 1982. [Por escalas, de la más pequeña a la más grande]. (Hay trad. cast., *Potencias de diez: libro que trata de los objetos del universo y del efecto que produce añadir otro cero*, Prensa Científica, Barcelona, 1984²).

- Myers, Norman, ed., *Gaia Atlas of First Peoples*, Penguin, Harmondsworth, 1990.
- , *Gaia Atlas of Future Worlds*, Penguin, Harmondsworth, 1990 (hay trad. cast., *El futuro de la Tierra: soluciones a la crisis medioambiental en una era de cambio*, Celeste Ediciones, Torrejón de Ardoz, 1992).
- , *The Gaia Atlas of Planet Management*, Pan, Londres, 1995². [Una espléndida visión general sobre el estado actual del planeta]. (Hay trad. cast., *Gaia: el atlas de la gestión del planeta*, Tursen, S. A. Hermann Blume Ediciones, Tres Cantos, 1994).
- Past Worlds: The Times Atlas of Archaeology*, Times Books, Londres, 1988. [¡Magnífico!].
- Penguin Atlas of World History*, Hermann Kinder y Werner Hilgemann, eds., Penguin, Harmondsworth, 1978. [Económica y accesible, con excelentes mapas y una detallada cronología de gran parte de la historia]. (Hay trad. cast., *Atlas histórico mundial*, 2 vols., Ediciones Istmo, Tres Cantos, 1992¹⁶).
- Reilly, Kevin, y Lynda Norene Shaffer, «World History», en *The American Historical Association's Guide to Historical Literature*, edición de Mary Beth Norton, Oxford University Press, Nueva York, 1995³, pp. 42-45.
- Renfrew, Colin, *Archaeology and Language: The Puzzle of Indo-European Origins*, Penguin, Harmondsworth, 1989 (hay trad. cast., *Arqueología y lenguaje: la cuestión de los orígenes indoeuropeos*, Crítica, Barcelona, 1990).
- Renfrew, Colin, y Paul Bahn, *Archaeology*, Thames and Hudson, Londres, 1992. [Excelente introducción a la arqueología]. (Hay trad. cast., *Arqueología: teoría, métodos y práctica*, Akal, Madrid, 1993).
- UNESCO, *History of Humanity: Scientific and Cultural Development*, vol. 1, *Prehistory and the Beginnings of Civilization*, edición de S. J. De Laet, Routledge, Londres, 1994 (hay trad. cast., *Historia de la Humanidad: desarrollo cultural y científico*, 12 vols., 1978-1982).
- , *History of Humanity: Scientific and Cultural Development*, vol. 2, *From the Third Millennium to the Seventh Century BC*, edición de A. H. Dani y J.-P. Mohen, Routledge, Londres, 1996 (hay trad. cast., *Historia de la Humanidad: desarrollo cultural y científico*, 12 vols., 1978-1982).
- , *History of Humanity: Scientific and Cultural Development*, vol. 3, *From the Seventh Century BC to the Seventh Century AD*, edición de Joachim Herrmann y Erik Zürcher, Routledge, Londres, 1996 (hay trad. cast., *Historia de la Humanidad: desarrollo cultural y científico*, 12 vols., 1978-1982).

OTRAS OBRAS

- Abramovo, Z. A., «Two Models of Cultural Adaptation», *Antiquity* 63 (1989), pp. 789-791.

- Abu-Lughod, Janet, *Before European Hegemony: The World System, A. D. 1250-1350*, Oxford University Press, Nueva York, 1989.
- Adams, Robert M., *The Evolution of Urban Society: Early Mesopotamia and Prehispanic Mexico*, Aldine, Chicago, 1966.
- , *Paths of Fire: An Anthropologist's Inquiry into Western Technology*, Princeton University Press, Princeton, 1996.
- Adas, Michael, ed., *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, Temple University Press, Filadelfia, 2001.
- , *Islamic and European Expansion: The Forging of a Global Order*, Temple University Press, Filadelfia, 1993.
- Adshead, S. A. M., *China in World History*, Macmillan, Basingstoke, 1995².
- Allsen, Thomas T., *Culture and Conquest in Mongol Eurasia*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
- Alroy, John, «A Multispecies Overkill Simulation of the End-Pleistocene Megafaunal Mass Extinction», *Science*, 8 de junio de 2001, pp. 1893-1896.
- Amin, Samir, «The Ancient World-Systems versus the Modern Capitalist WorldSystem», en *The World System: From Hundred Years or Five Thousand?*, edición de André Gunder Frank y Barry K. Gills, Routledge, Londres, 1992, pp. 247-277.
- Anderson, J. L., *Explaining Long-Term Economic Change*, Macmillan, Basingstoke, 1991.
- Armstrong, Terence, *Russian Settlement in the North*, Cambridge University Press, Cambridge, 1965.
- Ashton, T. S., *The Industrial Revolution, 1760-1830*, Oxford University Press, Londres, 1948 (hay trad. cast., *La revolución industrial: 1760-1830*, FCE, México, 1973).
- Aubet, María Eugenia, *The Phoenicians and the West: Politics, Colonies, and Trade*, traducción de Mary Turton, Cambridge University Press, Cambridge, 1993 (original en castellano, *Tiro y las colonias fenicias de Occidente*, Crítica, Barcelona, 1994).
- Bahn, Paul, y John Flenley, *Easter Island, Earth Island*, Thames and Hudson, Londres, 1992.
- Bairoch, Paul, *Cities and Economic Development: From the Dawn of History to the Present*, traducción de Christopher Brauder, University of Chicago Press, Chicago, 1988.
- , «International Industrialization Levels from 1705 to 1980», *Journal of European Economic History* 11 (1982), pp. 269-333.
- Barber, Elizabeth Wayland, *Women's Work: The first 20,000 Years: Women Cloth, and Society in Early Times*, W. W. Norton, Nueva York, 1994.
- Barff, Richard, «Multinational Corporations and the New International Division of Labour», en *Geographies of Global Change: Remapping the World in the Late*

- Twentieth Century*, edición de R. J. Johnston, Peter J. Taylor y Michael J. Watts, Blackwell, Oxford, 1995, pp. 50-62.
- Barfield, Thomas J., *The Nomadic Alternative*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1993.
- , *The Perilous Frontier: Nomadic Empires and China*, Blackwell, Oxford, 1989.
- Barnett, S. Anthony, *The Science of Life: From Cells to Survival*, Allen and Unwin, Sydney, 1998.
- Barraclough, Geoffrey, *An Introduction to Contemporary History*, reimpresión, Penguin, Harmondsworth, 1967 (hay trad. cast., *Introducción a la historia contemporánea*, Gredos, Madrid, 1993).
- Barrow, John D., *The Origin of the Universe*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1994.
- , *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation*, Clarendon, Oxford, 1991 (hay trad. cast., *Teorías del todo: hacia una explicación fundamental del universo*, Crítica, Barcelona, 1994).
- Barthold, W., *Turkestan down to the Mongol Invasion*, traducción de T. Minorsky, edición de C. E. Bosworth, E. J. W. Gibb Memorial Trust, Londres, 1977.
- Basalla, George, *The Evolution of Technology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988 (hay trad. cast., *La evolución de la tecnología*, Crítica, Barcelona, 1991).
- Bawden, Stephen, Stephen Dovers y Megan Shirlow, *Our Biosphere under Threat: Ecological Realities and Australia's Opportunities*, Oxford University Press, Melbourne, 1990.
- Bayley, Chris, *The Birth of the Modern World: Global Connections and Comparisons, 1780-1914*, Blackwell, Oxford, 2003.
- Becker, Luann, «Repeated Blows», *Scientific American*, marzo de 2002, pp. 76-83.
- Bellwood, Peter, *Man's Conquest of the Pacific: The Prehistory of Southeast Asia and Oceania*, Oxford University Press, Nueva York, 1979.
- , *The Polynesians: Prehistory of an Island People*, Thames and Hudson, Londres, 1987.
- Bentley, Jerry, «Cultural Encounters between the Continents over the Centuries», en *Nineteenth International Congress of Historical Sciences*, Nasjonalbiblioteket, Oslo, 2000, pp. 29-45.
- , *Old World Encounters: Cross-Cultural Contacts and Exchanges in PreModern Times*, Oxford University Press, Nueva York, 1993.
- , *Shapes of World History in Twentieth-Century Scholarship*, American Historical Association, Washington, D. C., 1996. [Reimpreso como *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, Filadelfia, 2001, pp. 3-35].
- Berg, Maxine, *The Age of Manufactures, 1700-1820: Industry Innovation, and Work in Britain*, Routledge, Londres, 1994² (hay trad. cast., *La era de las*

- manufacturas, 1700-1820: una nueva historia de la revolución industrial británica*, Crítica, Barcelona, 1987).
- Berry, Thomas, *The Dream of the Earth*, Sierra Club Books, San Francisco, 1988.
- Biraben, J. R., «Essai sur l'évolution du nombre des hommes», *Population* 34 (1979), pp. 13-25.
- Black, Jeremy, *War and the World: Military Power and the Fate of Continents, 1450-2000*, Yale University Press, New Haven, 1998.
- Blackmore, Susan, *The Meme Machine*, Oxford University Press, Oxford, 1999 (hay trad. cast., *La máquina de los memes*, Paidós, Barcelona, 2000).
- Blank, Paul W., y Fred Spier, eds., *Defining the Pacific: Constraints and Opportunities*, Ashgate, Aldershot, Hants., 2002. [Un estudio que podemos considerar una gran historia del Pacífico].
- Blaut, J. M., *The Colonizer's Model of the World: Geographical Diffusionism and Eurocentric History*, Guildford Press, Londres, 1993.
- Blumenfeld, Yorick, ed., *Scanning the Future: Twenty Eminent Thinkers on the World of Tomorrow*, Thames and Hudson, Londres, 1999.
- Bogucki, Peter, *The Origins of Human Society*, Blackwell, Oxford, 1999.
- Borah, Woodrow, y Sherburne F. Cook, *The Aboriginal Population of Central Mexico on the Eve of the Spanish Conquest*, University of California Press, Berkeley, 1963.
- Boserup, Ester, *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*, Aldine, Chicago, 1965 (hay trad. cast., *Las condiciones del desarrollo en la agricultura: la economía del cambio agrario bajo la presión demográfica*, Tecnos, Madrid, 1967).
- , *Population and Technology*, Blackwell, Oxford, 1981.
- Bottomore, Tom, ed., *A Dictionary of Marxist Thought*, Blackwell, Oxford, 1991² (hay trad. cast., *Diccionario del pensamiento marxista*, Tecnos, Madrid, 1984).
- Boyden, S., *Biohistory: The Interplay between Human Society and the Biosphere*, Man and the Biosphere Series, ed. J. N. R. Jeffers, vol. 8, Carnforth and Park Ridge, UNESCO y The Parthenon Publishing Group, París, 1992.
- Brady, Thomas A., «Rise of Merchant Empires, 1400-1700: A European Counterpoint», en *The Political Economy of Merchant Empires: State Power and World Trade, 1350-1750*, edición de James D. Tracy, Cambridge University Press, Cambridge, 1991, pp. 117-160.
- Braudel, Fernand, *Civilization and Capitalism, Fifteenth-Eighteenth Century*, 3 vols., Collins, Londres, 1981-1984 (hay trad. cast., *Civilización material, economía y capitalismo*, 3 vols., Alianza, Madrid, 1984).
- , *On History*, traducción de Sarah Matthews, University of Chicago Press, Chicago, 1980 (hay trad. cast., *Escritos sobre la historia*, Alianza, Madrid, 1991).

- Briggs, Asa, *A Social History of England*, Penguin, Harmondsworth, 1987² (hay trad. cast., *Historia social de Inglaterra*, Alianza, Madrid, 1994).
- Brown, Lester R., *Eco-Economy: Building an Economy for the Earth*, W. W. Norton, Nueva York, 2001 (hay trad. cast., *Eco-economía: para una economía a la medida de la tierra*, Hacer, Barcelona, 2004).
- Brown, Lester R., y Jennifer Mitchell, «Building a New Economy», en *State of the World, 1998: A Worldwatch Institute Report on Progress toward a Sustainable Society*, Lester R. Brown *et al.*, Earthscan Publications, Londres, 1998, pp. 168-187 (hay trad. cast., *El estado del mundo: un informe del Instituto Worldwatch acerca del progreso hacia una sociedad perdurable*, FCE, México, 1998).
- Brown, Lester R., *et al.*, *Vital Signs, 1998-1999: The Trends That Are Shaping Our Future*, Earthscan, Londres, 1998 (hay trad. cast., *Signos vitales, 1998-1999*, Gaia Proyecto, Madrid, 1998).
- Budiansky, Stephen, *The Covenant of the Wild*, Morrow, Nueva York, 1992. [Exposición para un público general de la domesticación animal].
- Bulliet, Richard, *et al.*, *The Earth and Its Peoples: A Global History*, Houghton Mifflin, Boston, 1997.
- Burenhult, Göran, «The Rise of Art», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Göran Burenhult, vol. 1, *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 BC*, University of Queensland Press, St Lucia, 1993.
- Burstein, Stanley M., «The Hellenistic Period in World History», en *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, Filadelfia, 2001.
- , ed., *Ancient African Civilizations: Kush and Axum*, Markus Wiener, Princeton, 1998.
- Bushnell, John, *Mutiny amid Repression: Russian Soldiers in the Revolution of 1905-1906*, Indiana University Press, Bloomington, 1985.
- Bynum, W. F., y Roy Porter, eds., *Companion Encyclopedia of the History of Medicine*, Routledge, Londres, 1993.
- Cairns-Smith, A. G., *Evolving the Mind: On the Nature of Matter and the Origin of Conscious*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996 (hay trad. cast., *La evolución de la mente: sobre la naturaleza de la materia y el origen de la conciencia*, Cambridge University Press, Madrid, 2000).
- , *Seven Clues to the Origin of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985 (hay trad. cast., *Siete pistas sobre el origen de la vida: una historia científica en clave detectivesca*, Alianza, Madrid, 1990).
- Calvin, William H., *The Ascent of Mind: Ice Age Climates and the Evolution of Intelligence*, Bantam, Nueva York, 1991.
- , *How Brains Think: Evolving Intelligence, Then and Now*, Phoenix, Londres, 1998 (hay trad. cast., *Cómo piensan los cerebros: la evolución de la inteligencia*

- antes y ahora*, Debate, Madrid, 2001).
- Campbell, Joseph, *The Hero with a Thousand Faces*, Bollingen n.º 17, Princeton University Press, Princeton, 1959 (hay trad. cast., *El héroe de las mil caras, psicoanálisis del mito*, FCE, México, 1959).
- , *The Masks of God*, vol. 1, *Primitive Mythology*, 1959, reimpresión, Penguin, Harmondsworth, 1976 (hay trad. cast., *Las máscaras de Dios*, 4 vols., vol. 1, *Mitología primitiva*, Alianza, Madrid, 1991-1992).
- Campbell, Joseph, y Bill Moyers, *The Power of Myth*, Doubleday, Nueva York, 1988 (hay trad. cast., *El poder del mito*, Emecé, Barcelona, 1991).
- Cardwell, Donald, *The Fontana History of Technology*, Fontana, Londres, 1994 (hay trad. cast., *Historia de la tecnología*, Alianza, Madrid, 1996).
- Carneiro, Robert, «Political Expansion as an Expression of the Principle of Competitive Exclusion», en *Origins of the State: The Anthropology of Political Evolution*, edición de Ronald Cohen y Elman R. Service, Institute for the Study of Human Issues, Filadelfia, 1978, pp. 205-220.
- Castells, Manuel, *End of Millennium*, vol. 3 de *The Information Age: Economy, Society and Culture*, Blackwell, Oxford, 1998 (versión cast.: *Fin del milenio*, vol. 3 de *La era de la información: economía, sociedad y cultura*, 3 vols., Siglo XXI, Madrid, 1999).
- , *The Power of Identity*, vol. 2 de *The Information Age: Economy, Society and Culture*, Blackwell, Oxford, 1997 (versión cast.: *El poder de la identidad*, vol. 2 de *La era de la información: economía, sociedad y cultura*, 3 vols., Siglo XXI, Madrid, 1999).
- , *The Rise of the Network Society*, vol. 1 de *The Information Age: Economy, Society and Culture*, Blackwell, Oxford, 1996 (versión cast.: *La sociedad red*, vol. 1 de *La era de la información: economía, sociedad y cultura*, 3 vols., Siglo XXI, Madrid, 1999).
- Cattermole, Peter, y Patrick Moore, *The Story of the Earth*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986.
- Cavalli-Sforza, Luigi Luca, y Francesco Cavalli-Sforza, *The Great Human Diasporas*, traducción de Sarah Thorne, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1995 (hay trad. cast., *¿Quiénes somos? Historia de la diversidad humana*, Crítica, Barcelona, 1999).
- Chaisson, Eric J., *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2001.
- , *The Life Era: Cosmic Selection and Conscious Evolution*, W. W. Norton, Nueva York, 1987.
- , *Universe: An Evolutionary Approach to Astronomy*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1988.
- Champion, Timothy, et al., *Prehistoric Europe*, Academic Press, Londres, 1984 (hay trad. cast., *Prehistoria de Europa*, Crítica, Barcelona, 1996).

- Chandler, Tertius, *Four Thousand Years of Urban Growth: An Historical Census*, St. David's University Press, Lewiston, N. Y., 1987.
- Chase-Dunn, Christopher, *Global Formation: Structures of the World-Economy*, Blackwell, Oxford, 1989.
- Chase-Dunn, Christopher, y Thomas D. Hall, «Cross-World System Comparisons: Similarities and Differences», en *Civilizations and World Systems: Studying World-Historical Change*, edición de Stephen K. Sanderson, Altamira, Walnut Creek, Calif., 1995.
- , *Rise and Demise: Comparing World Systems*, Westview Press, Boulder, Colo., 1997.
- , eds., *Core/Periphery Relations in Precapitalist Worlds*, Westview Press, Boulder, Colo., 1991.
- Chaudhuri, K. N., *Asia before Europe: Economy and Civilization of the Indian Ocean from the Rise of Islam to 1750*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- Chew, Sing C., *World Ecological Degradation: Accumulation, Urbanization, and Deforestation, 3000 B. C.-A. D. 2000*, Rowman and Littlefield, Lanham, 2001.
- Childe, V. Gordon, *Man Makes Himself*, Watts, Londres, 1936 (hay trad. cast., *Los orígenes de la civilización*, FCE, Madrid, 1988).
- , *What Happened in History?* Penguin, Harmondsworth, 1942 (hay trad. cast., *¿Qué sucedió en la historia?*, Planeta-Agostini, Barcelona, 1985).
- Christian, David, «Accumulation and Accumulators: The Metaphor Marx Muffed», *Science and Society* 54, n.º 2 (verano de 1990), pp. 219-224.
- , «Adopting a Global Perspective», en *The Humanities and a Creative Nation: Jubilee Essays*, edición de D. M. Schreuder, Australian Academy of the Humanities, Canberra, 1995.
- , «The Case for “Big History”», *Journal of World History* 2, n.º 2 (otoño de 1991), pp. 223-238. [Reimpreso en *The New World History: A Teacher’s Companion*, edición de Ross E. Dunn (Bedford/St. Martin’s, Boston, 2000) pp. 575-587].
- , *A History of Russia, Central Asia, and Mongolia*, vol. 1, *Inner Eurasia from Prehistory to the Mongol Empire*, Blackwell, Oxford, 1998.
- , *Imperial and Soviet Russia: Power, Privilege, and the Challenge of Modernity*, Macmillan, Basingstoke, 1997.
- , *Living Water: Vodka and Russian Society on the Eve of Emancipation*, Clarendon, Oxford, 1990.
- , «The Longest Durée: A History of the Last 15 Billion Years», *Australian Historical Association Bulletin*, n.º 59-60 (agosto-noviembre de 1989), pp. 27-36.
- , «Maps of Time: Human History and Terrestrial History», en *Symposium ter Gelegenheid van het 250-jarig Jubileum*, Koninklijke Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen, Haarlem, 2002, pp. 33-63.

- , «Science in the Mirror of “Big History”», en *The Changing Image of the Sciences*, edición de I. H. Stamhuis, T. Koetsier, C. de Parter y A. van Helden, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002, pp. 143-171.
- , «Silk Roads or Steppe Roads? The Silk Roads in World History», *Journal of World History* 11, n.º 1 (primavera de 2000), pp. 1-26.
- Christopherson, Susan, «Changing Women’s Status in a Global Economy», en *Geographies of Global Change: Remapping the World in the Late Twentieth Century*, edición de R. J. Johnston, Peter J. Taylor y Michael J. Watts, Blackwell, Oxford, 1995, pp. 191-205.
- Cipolla, Carlo M., *Before the Industrial Revolution: European Society and Economy, 1000-1700*, Methuen, Londres, 1981².
- , *The Economic History of World Population*, Penguin, Harmondsworth, 1974. [Desactualizada, particularmente en lo relativo a las sociedades organizadas por parentesco, aunque contiene una interesante visión general de la historia humana.] (Hay trad. cast., *Historia económica de la población humana*, Crítica, Barcelona, 2000).
- Claessen, Henri J. M., y Peter Skalnik, eds., *The Early State*, Mouton, La Haya, 1978.
- Cliff, Andrew, y Peter Haggett, «Disease Implications of Global Change», en *Geographies of Global Change: Remapping the World in the Late Twentieth Century*, edición de R. J. Johnston, Peter J. Taylor y Michael J. Watts, Blackwell, Oxford, 1995, pp. 206-223.
- Cline, David B., «The Search for Dark Matter», *Scientific American*, marzo de 2003, pp. 50-59.
- Cloud, Preston, *Cosmos, Earth, and Man: A Short History of the Universe*, Yale University Press, New Haven, 1978 (hay trad. cast., *El cosmos, la tierra y el hombre: breve historia del universo*, Alianza, Madrid, 1988).
- , *Oasis in Space: Earth History from the Beginning*, W. W. Norton, Nueva York, 1988.
- Clutton-Brock, Juliet, *Domesticated Animals from Early Times*, British Museum, Londres, 1981.
- Coatsworth, John H., «Welfare», *American Historical Review* 101, n.º 1 (febrero de 1996), pp. 1-17.
- Coe, Michael D., *The Maya*, Praeger, Nueva York, 1966 (hay trad. cast., *Los Mayas*, Diana, México, 1986).
- , *Mexico: From the Olmecs to the Aztecs*, Thames and Hudson, Nueva York, 1994⁴.
- Cohen, H. Floris, *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry*, University of Chicago Press, Chicago, 1994.
- Cohen, Mark, *The Food Crisis in Prehistory*, Yale University Press, New Haven, 1977 (hay trad. cast., *La crisis alimentaria de la prehistoria: la superpoblación y los orígenes de la agricultura*, Alianza, Madrid, 1981).
- , *Health and the Rise of Civilization*, Yale University Press, New Haven, 1989.

- Cohen, Ronald, y Elman R. Service, eds., *Origins of the State: The Anthropology of Political Evolution*, Institute for the Study of Human Issues, Filadelfia, 1978.
- Coles, Peter, *Cosmology: A Very Short Introduccion*, Oxford University Press, Oxford, 2001.
- Collins, Randal, *Macrohistory: Essays in the Sociology of the Long Run*, Stanford University Press, Stanford, 1999.
- Constantino Porfirogéneta, *De Administrando Imperio*, edición de G. Moravcsik, traducción de R. J. H. Jenkins, edición revisada, Dumbarton Oaks Center for Byzantine Studies, Washington, 1967.
- Costello, Paul, *World Historians and Their Goals: Twentieth-Century Answers to Modernism*, Northern Illinois University Press, De Kalb, 1994.
- Courtwright, David T., *Forces of Habit: Drugs and the Making of the Modern World*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 2002 (hay trad. cast., *Las drogas y la formación del mundo moderno: breve historia de las sustancias adictivas*, Paidós, Barcelona, 2002).
- Crafts, N. F. R., *British Economic Growth during the Industrial Revolution*, Clarendon, Oxford, 1985.
- Crawford, Ian, «Where Are They?», *Scientific American*, julio de 2000, pp. 38-43.
- Cronon, William, «A Place for Stories: Nature, History, and Narrative», *Journal of American History* 78, n.º 4 (marzo de 1992), pp. 1347-1376.
- Crosby, Alfred W., *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1492*, Greenwood Press, Westport, Conn., 1972 (hay trad. cast., *El intercambio transoceánico: consecuencias biológicas y culturales a partir de 1492*, UNAM, México, 1991).
- , *Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900-1900*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986 (hay trad. cast., *Imperialismo ecológico: la expansión biológica de Europa, 900-1900*, Crítica, Barcelona, 1999).
- , *The Measure of Reality: Quantification in Western Europe, 1250-1600*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997 (hay trad. cast., *La medida de la realidad: la cuantificación y la sociedad occidental, 1250-1600*, Crítica, Barcelona, 1998).
- Croswell, Ken, *The Alchemy of the Heavens*, Oxford University Press, Oxford, 1996.
- , «Uneasy Truce», *New Scientist*, 30 de mayo, 1998, pp. 42-46.
- Curtin, Philip D., *Cross-Cultural Trade in World History*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- Dalziel, Ian W. D., «Earth before Pangea», *Scientific American*, enero de 1995, pp. 38-43.
- Darwin, Charles, *The Origin of Species by Means of Natural Selection: The Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, edición e introducción

- de J. W. Burrow, Penguin, Harmondsworth, 1968. [Publicada en 1859.] (hay trad. cast., *El origen de las especies*, Espasa-Calpe, Madrid, 1988).
- Davies, Norman, *Europe: A History*, 1996, reimpresión, Pilmico, Londres, 1997.
- Davies, Paul, *About Time*, Viking, Londres, 1995 (hay trad. cast., *Sobre el tiempo: la revolución inacabada de Einstein*, Crítica, Barcelona, 1996).
- , *The Cosmic Blueprint*, Unwin, Londres, 1989 (hay trad. cast., *Proyecto cósmico: nuevos descubrimientos acerca del orden del universo*, Pirámide, Madrid, 1989).
- , *The Fifth Miracle: The Search for the Origin of Life*, Penguin, Harmondsworth, 1999 (hay trad. cast., *El quinto milagro: la búsqueda del origen y significado de la vida*, Crítica, Barcelona, 2000).
- , *The Last Three Minutes*, Phoenix, Londres, 1995 (hay trad. cast., *Los últimos tres minutos: conjeturas acerca del destino final del universo*, Debate, Madrid, 2001).
- Davis, Mike, *Late Victorian Holocausts: El Niño Famines and the Making of the Third World*, Verso, Londres, 2001.
- Davis, Natalie Zemon, «Cultural Encounters between the Continents over the Centuries», en *Nineteenth International Congress of Historical Sciences*, Nasjonalbiblioteket, Oslo, 2000, pp. 46-47.
- Davis, Ralph, *The Rise of the Atlantic Economies*, Cornell University Press, Ithaca, N. J., 1973 (hay trad. cast., *La Europa atlántica: desde los descubrimientos hasta la industrialización*, Siglo xxi, México, 1976).
- Davis-Kimball, Jeannine, junto con Mona Behan, *Warrior Women: An Archaeologist's Search for History's Hidden Heroines*, Warner, Nueva York, 2002.
- Dawkins, Richard, *River out of Eden: A Darwinian View of Life*, Bantam, Nueva York, 1995 (hay trad. cast., *El río del edén*, Debate, Madrid, 2000).
- , *The Selfish Gene*, Oxford University Press, Oxford, 1989² (hay trad. cast., *El gen egoísta: las bases biológicas de nuestra conducta*, Salvat, Barcelona, 2004⁶).
- Dayton, Leigh, «Mass Extinctions Pinned on Ice Age Hunters», *Science*, 8 de junio, 2001, p. 1819.
- Deacon, Terrence W., *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*, Penguin, Harmondsworth, 1997.
- Delsemme, Armand, *Our Cosmic Origins: From the Big to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Denemark, Robert A., et al., eds., *World System History: The Social Science of Long-Term Change*, Routledge, Londres, 2000.
- Dennell, Robin C., *European Economic Prehistory: A New Approach*, Academic Press, Nueva York, 1983 (hay trad. cast., *Prehistoria económica de Europa: una nueva aproximación*, Crítica, Barcelona, 1999).

- Dennett, Daniel C., *Consciousness Explained*, Penguin, Londres, 1993 (hay trad. cast., *La conciencia explicada: una teoría interdisciplinar*, Paidós, Barcelona, 1995).
- , *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meaning of Life*, Allen Lane, Londres, 1995 (hay trad. cast., *La peligrosa idea de Darwin: evolución y significados de la vida*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 1999).
- , *Kinds of Minds: Toward an Understanding of Consciousness*, Weidenfeld, Londres, 1997 (hay trad. cast., *Tipos de mentes: hacia una comprensión de la conciencia*, Debate, Madrid, 2000).
- De Vries, B., y J. Goudsblom, eds., *Mappae Mundi: Humans and Their Habitats in a Long-Term Socio-Ecological Perspective*, Amsterdam University Press, Amsterdam, 2002.
- De Vries, Jan, «The Industrial Revolution and the Industrious Revolution», *Journal of Economic History* 54, n.º 2 (junio de 1994), pp. 249-270.
- Diamond, Jared, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, Vintage, Londres, 1998 (hay trad. cast., *Armas, gérmenes y acero: breve historia de la humanidad en los últimos trece mil años*, Debate, Barcelona, 2004).
- , «Human Use of World Resources», *Nature*, 6 de agosto, 1987, pp. 479-480.
- , *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee*, Vintage, Londres, 1991 (hay trad. cast., *El tercer chimpancé*, Espasa-Calpe, Madrid, 1994).
- , *Why Is Sex Fun? The Evolution of Human Sexuality*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1997 (hay trad. cast., *¿Por qué es divertido el sexo?*, Debate, Barcelona, 1999).
- Díaz del Castillo, Bernal, *The Conquest of New Spain*, traducción de J. M. Cohen, Penguin, Harmondsworth, 1963 (original en castellano, *Historia verdadera de la conquista de Nueva España*, Espasa-Calpe, Madrid, 1968).
- Di Cosmo, Nicola, «European Technology and Manchu Power: Reflections on the “Military Revolution” in Seventeenth Century China», documento presentado en el International Congress of Historical Sciences, Oslo, agosto de 2000.
- , «State Formation and Periodization in Inner Asian History», *Journal of World History* 10, n.º 1 (primavera de 1999), pp. 1-40.
- Diesendorf, Mark, y Clive Hamilton, eds., *Human Ecology, Human Economy*, Allen and Unwin, Sydney, 1997.
- Dolukhanov, P. M., «The Late Mesolithic and the Transition to Food Production in Eastern Europe», en *Hunters in Transition: Mesolithic Societies of Temperate Eurasia and Their Transition to Farming*, edición de Marek Zvelebil, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, pp. 109-120.
- Dunn, Ross E., *The Adventures of Ibn Battuta: A Muslim Traveler of the Fourteenth Century*, University of California Press, Berkeley, 1986.
- Dyson, Freeman, *Origins of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999² (hay trad. cast., *Los orígenes de la vida*, Cambridge University Press, Madrid,

- 1999).
- Earle, Timothy, *How Chiefs Come to Power: The Political Economy in Prehistory*, Stanford University Press, Stanford, 1997.
- Eckhardt, William, «A Dialectical Evolutionary Theory of Civilizations, Empires, and Wars», en *Civilizations and World Systems: Studying World-Historical Change*, edición de Stephen K. Sanderson, Altamira Press, Walnut Creek, Calif., 1995.
- Ehrenberg, Margaret, *Women in Prehistory*, University of Oklahoma Press, Norman, 1989.
- Ehret, Christopher, *An African Classical Age: Eastern and Southern Africa in World History, 1000 B. C. to A. D. 400*, University Press of Virginia, Charlottesville, 1998.
- , «Sudanic Civilization», en *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, Filadelfia, 2001.
- Ehrlich, Paul, *Human Natures: Genes, Cultures, and the Human Prospect*, Island Press, Washington, D. C., 2000.
- , *The Machinery of Nature*, Simon and Schuster, Nueva York, 1986.
- Ehrlich, Paul R., y Anne H. Ehrlich, *The Population Explosion*, Simon and Schuster, Nueva York, 1990 (hay trad. cast., *La explosión demográfica: el principal problema ecológico*, Salvat, Barcelona, 1993).
- Eibl-Eibesfeldt, Irenäus, «Aggression and War: Are They part of Being Human?», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Gören Burenhult, vol. 1, *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 B C*, University of Queensland Press, St. Lucia, 1993.
- Eliade, Mircea, *The Myth of the Eternal Return, or, Cosmos and History*, traducción de Willard R. Trask, Harper, Nueva York, 1954 (hay trad. cast., *El mito del eterno retorno: arquetipos y repetición*, Alianza, Madrid, 2000).
- Elias, Norbert, *The Civilizing Process*, vol. 1, *The History of Manners*, traducción de Edmund Jephcott, Blackwell, Oxford, 1978.
- , *The Civilizing Process*, vol. 2, *State Formation and Civilization*, traducción de Edmund Jephcott, Blackwell, Oxford, 1982.
- , *The Civilizing Precess: Sociogenetic and Psychogenetic Investigations*, traducción de Edmund Jephcott, edición de Eric Dunning, Johan Goudsblom y Stephen Mennell, Blackwell, Oxford, 2000 (hay trad. cast., *El proceso de la civilización: investigaciones sociogenéticas y psicogenéticas*, FCE, México, 1993²).
- , *Norbert Elias on Civilization, Power, and Knowledge: Selected Writings*, edición de Stephen Mennell y Johan Goudsblom, University of Chicago Press, Chicago, 1998.

- , *The Norbert Elias Reader: A Biographical Selection*, edición de Johan Goudsblom y Stephen Mennell, Blackwell, Oxford, 1998.
- , *Time: An Essay*, traducción de Edmund Jephcott, Blackwell, Oxford, 1992 (hay trad. cast., *Sobre el tiempo*, FCE, Madrid, 1989).
- Elvin, Mark, *The Pattern of the Chinese Past*, Stanford University Press, Stanford, 1973.
- Emiliani, Cesare, *Planet Earth: Cosmology, Geology, and the Evolution of Life and Environment*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- Evans, L. T., *Feeding the Ten Billion: Plants and Population Growth*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Fagan, Brian M., *Floods, Famines, and Emperors: El Niño and the Fate of Civilizations*, Basic Books, Nueva York, 1999.
- , *The Journey from Eden: The Peopling of Our World*, Thames and Hudson, Londres, 1990.
- , *People of the Earth: An Introduction to World Prehistory*, Prentice Hall, Uper Saddle River, N. J., 2001. [Un excelente, exhaustivo y actualizado libro de texto sobre la prehistoria].
- Ferris, Timothy, *Coming of Age in the Milky Way*, William Morrow, Nueva York, 1988 (hay trad. cast., *La aventura del universo: de Aristóteles a la teoría de los cuantos: una historia sin fin*, Crítica, Barcelona, 1999).
- , *The Whole Shebang: A State-of-the-Universe(s) Report*, Simon and Schuster, Nueva York, 1997 (hay trad. cast., *Informe sobre el universo*, Crítica, Barcelona, 1998).
- Feynman, Richard P., *Six Easy Pieces: The Fundamentals of Physics Explained*, Penguin, Londres, 1998. [Una muy buena introducción sobre los conceptos básicos de la física moderna, escrita por uno de sus pioneros]. (Hay trad. cast., *Seis piezas fáciles: la física explicada por un genio*, Crítica, Barcelona, 2002).
- Finley, M. I., *The Ancient Economy*, Chatto and Windus, Londres, 1973 (hay trad. cast., *La economía de la antigüedad*, FCE, México, 2003³).
- , «Empire in the Greco-Roman World», *Greece and Rome*, 2.^a serie, 25, n.^o 1 (abril de 1978), pp. 1-15.
- Finney, Ben, «The Other One-Third of the Globe», *Journal of World History* 5, n.^o 2 (otoño de 1994), pp. 273-298.
- Flannery, Tim, *The Eternal Frontier: An Ecological History of North America and Its Peoples*, Atlantic Monthly Press, Nueva York, 2001.
- , *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood, N. S. W., 1995.
- Fletcher, Roland, *The Limits of Settlement Growth: A Theoretical Outline*, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- , «Mammoth Bone Huts», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Göran Burenkult, vol. 1, *The First Humans: Human Origins and History to*

- 10,000 B. C., University of Queensland Press, St. Lucia, 1993, pp. 134-135.
- Flood, Josephine, *Archaeology of the Dreamtime*, Collins, Sydney, 1983.
- Floud, Roderick, y Donald McCloskey, eds., *The Economic History of Britain since 1700*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994².
- Flynn, Dennis O., y Arturo Giráldez, «Born with a “Silver Spoon”: The Origin of World Trade in 1571», *Journal of World History* 6, n.^o 2 (otoño de 1995), pp. 201-221.
- , «Cycles of Silver: Global Economic Unity through the Mid-Eighteenth Century», *Journal of World History* 13, n.^o 2 (otoño de 2002), pp. 391-427.
- , *Metals and Monies in an Emerging Global Economy*, Variorum, Brookfield, Vt., 1997.
- Fodor, Jerry A., *The Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology*, MIT Press, Cambridge, 1983 (hay trad. cast., *La modularidad de la mente: un ensayo sobre la psicología de las facultades*, Morata, Madrid, 1986).
- Foley, Robert, *Humans before Humanity*, Blackwell, Oxford, 1995 (hay trad. cast., *Humanos antes de la humanidad*, Edicions Bellaterra, Barcelona, 1997).
- , «In the Shadow of the Modern Synthesis? Alternative Perspectives on the Last Fifty Years of Paleoanthropology», *Evolutionary Anthropology* 10, n.^o 1 (2001), pp. 5-15.
- Foltz, Richard, *Religions of the Silk Road: Overland Trade and Cultural Exchange from Antiquity to the Fifteenth Century*, St. Martin’s Press, Nueva York, 1999.
- Forsyth, James, *A History of the Peoples of Siberia: Russia’s North Asian Colony, 1581-1990*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- Fortey, Richard A., *Life: An Unauthorised Biography: A Natural History of the First Four Thousand Million Years of Life on Earth*, Flamingo, Londres, 1998 (hay trad. cast., *La vida: una biografía no autorizada*, Taurus, Madrid, 1999).
- Frank, André Gunder, *ReOrient: Global Economy in the Asian Age*, University of California Press, Berkeley, 1998.
- Frank, André Gunder, y Barry K. Gills, eds., *The World System: Five Hundred Years or Five Thousand?*, Routledge, Londres, 1992.
- Freedman, Wendy L., «The Expansion Rate and Size of the Universe», *Scientific American*, noviembre de 1992, p. 54.
- Gaddis, John Lewis, *The Landscape of History: How Historians Map the Past*, Oxford University Press, Oxford, 2002 (hay trad. cast., *El paisaje de la historia: cómo los historiadores representan el pasado*, Anagrama, Barcelona, 2004).
- Gamble, Clive, *The Paleolithic Settlement of Europe*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986 (hay trad. cast., *El poblamiento paleolítico de Europa*, Crítica, Barcelona, 1990).
- , *Timewalkers: The Prehistory of Global Colonization*, Penguin, Harmondsworth, 1995.

- Gell-Mann, Murray, «Transitions to a More Sustainable World», en *Scanning the Future: Twenty Eminent Thinkers on the World of Tomorrow*, edición de Yorick Blumenfeld, Thames and Hudson, Londres, 1999, pp. 61-79. [Extractos de *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex* (1994)].
- Gellner, Ernest, *Plough, Sword, and Book: The Structure of Human History*, Paladin, Londres, 1991 (hay trad. cast., *El arado, la espada y el libro: la estructura de la historia humana*, Península, Barcelona, 1994).
- Gerschenkron, Alexander, *Economic Backwardness in Historical Perspective, a Book of Essays*, Harvard University Press, Belknap Press, Cambridge, Mass., 1962 (hay trad. cast., *El atraso económico en su perspectiva histórica*, Ariel, Barcelona, 1968).
- Gibbons, Ann, «In Search of the First Hominids», *Science*, 15 de febrero de 2002, pp. 1214-1219.
- Giddens, Anthony, *Beyond Left and Right: The Future of Radical Politics*, Polity, Cambridge, 1994 (hay trad. cast., *Más allá de la izquierda y de la derecha: el futuro de las políticas radicales*, Cátedra, Madrid, 1998).
- , *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Macmillan, Basingstoke, 1995².
- , *The Nation-State and Violence*, segundo volumen de *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Polity Press, Cambridge, 1985. [Tomados en conjunto, estos tres volúmenes de Giddens ofrecen una teoría sobre la naturaleza de la sociedad moderna y la modernidad].
- Gills, Barry K., y André Gunder Frank, «The Cumulation of Accumulation», en *The World System: Five Hundred Years or Five Thousand?*, edición de André Gunder Frank y Barry K. Gills, Routledge, Londres, 1992, pp. 81-114.
- , «World System Cycles, Crises, and Hegemonic Shifts, 1700 B. C. to 1700 A. D.», en *The World System: Five Hundred Years of Five Thousand?*, edición de André Gunder Frank y Barry K. Gills, Routledge, Londres, 1992, pp. 143-199.
- Gimbutas, Marija, *The Civilization of the Goddess: The World of Old Europe*, edición de Joan Marler, Harper and Row, San Francisco, 1991.
- Gleick, James, *Chaos: Making a New Science*, Penguin, Nueva York, 1988 (hay trad. cast., *Caos: la creación de una ciencia*, Seix Barral, Barcelona, 1998).
- Golden, Peter B., «Nomads and Sedentary Societies in Eurasia», en *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, Filadelfia, 2001.
- Goldstone, Jack A., *Revolution and Rebellion in the Early Modern World*, University of California Press, Berkeley, 1991.
- Goody, Jack, *The East in the West*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- Gorbachov, Mijail, *Perestroika: New Thinking for Our Country and the World*, Harper and Row, Nueva York, 1987 (hay trad. cast., *La perestroika*,

- Plaza & Janés, Barcelona, 1987).
- Goudie, Andrew, *The Human Impact on the Natural Environment*, Blackwell, Oxford, 2000⁵.
- , ed., *The Human Impact Reader: Readings and Case Studies*, Blackwell, Oxford, 1997.
- Goudie, Andrew, y Heather Viles, eds., *The Earth Transformed: An Introduction to Human Impacts on the Environment*, Blackwell, Oxford, 1997.
- Goudsblom, Johan, *Fire and Civilization*, Allen Lane, Harmondsworth, 1992.
- Goudsblom, Johan, Eric Jones y Stephen Mennell, *The Course of Human History: Economic Growth, Social Process, and Civilization*, M. E. Sharpe, Armonk, N. Y., 1996.
- Gould, Stephen Jay, *Ever Since Darwin: Reflections in Natural History*, W. M. Norton, Nueva York, 1977 (hay trad. cast., *Desde Darwin: reflexiones sobre historia natural*, Hermann Blume, Madrid, 1983).
- , *Life's Grandeur: The Spread of Excellence from Plato to Darwin*, Jonathan Cape, Londres, 1996. [La edición norteamericana, que tiene el mismo subtítulo, se titula *Full House*]. (Hay trad. cast., *La grandeza de la vida: la expansión de la excelencia de Platón a Darwin*, Crítica, Barcelona, 1997).
- , *The Mismeasure of Man*, W. W. Norton, Nueva York, 1981 (hay trad. cast., *La falsa medida del hombre*, edición revisada y ampliada, Crítica, Barcelona, 1997).
- , *The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History*, Penguin, Harmondsworth, 1980 (hay trad. cast., *El pulgar del panda: reflexiones sobre historia natural*, Crítica, Barcelona, 2004).
- , *Time's Arrow, Time's Cycle: Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time*, Harvard University Press, Cambridge, 1987.
- , *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, Hutchinson, Londres, 1989 (hay trad. cast., *La vida maravillosa: Burgess Shale y la naturaleza de la historia*, Crítica, Barcelona, 1999).
- Greenberg, Joseph, y Merritt Ruhlen, «Linguistic Origins of Native Americans», *Scientific American*, noviembre de 1992, pp. 94-99.
- Griaule, Marcel, *Conversations with Ogotemmêli*, 1965, reimpresión, Oxford University Press for the International African Institute, Londres, 1975 (hay trad. cast., *Dios de agua*, Alta Fulla, Barcelona, 1987).
- Gribbin, John, *Genesis: The Origins of Man and the Universe*, Delta, Nueva York, 1981. [Una introducción científica de la historia del universo, las estrellas y la tierra]. (Hay trad. cast., *Génesis: los orígenes del hombre y del universo*, Salvat, Barcelona, 1995).
- , *In Search of the big bang: Quantum Physics and Cosmology*, Corgi, Londres, 1987 (hay trad. cast., *En busca del big bang*, Pirámide, Madrid, 1988).

- Halle-Selassie, Yohannes, «Late Miocene Hominids from the Middle Awash, Etiopía», *Nature*, 12 de julio de 2001, pp. 178-181.
- Hansen, Valerie, *The Open Empire: A History of China to 1600*, W. W. Norton, Nueva York, 2000.
- Haraway, Donna J., *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*, Routledge, Nueva York, 1991.
- Harris, David, y Gordon Hillman, eds., *Foraging and Farming: The Evolution of Plant Exploitation*, Unwin Hyman, Londres, 1989.
- Harris, Marvin, *Culture, People, Nature*, Harper and Row, Nueva York, 1988. [Una clara, simple pero dogmática introducción a la antropología]. (Hay trad. cast., *Introducción a la antropología general*, Alianza, Madrid, 1983⁴).
- , «The Origin fo Pristine State», en *Cannibals and Kings*, edición de Marvin Harris, Vintage, Nueva York, 1978, pp. 101-123 (hay trad. cast., *Caníbales y reyes: los orígenes de las culturas*, Alianza, Madrid, 1997).
- Harrison, Paul, *Inside the Third World: The Anatomy of Poverty*, Penguin, Harmondsworth, 1981².
- , *The Third Revolution: Population, Environment, and a Sustainable World*, I. B. Tauris, Londres, 1992.
- al-Hassan, Ahmand Y., y Donald R. Hill, *Islamic Technology: An Illustrated History*, Cambridge University Press; UNESCO, Cambridge, París, 1986.
- Haub, Carl, «How Many People Have Ever Lived on Earth?», *Population Today*, febrero de 1995, p. 4.
- Hawke, Gary, «Reinterpretations of the Industrial Revolution», en *The Industrial Revolution and British Society*, edición de Patrick O'Brien y Roland Quinault, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, pp. 54-78.
- Hawking, Stephen, *A Brief History of Time: From the big bang to Black Holes*, Bantam, Nueva York, 1988 (hay trad. cast., *Historia del tiempo*, Crítica, Barcelona, 1988).
- , «The Direction of Time», *New Scientist*, 9 de julio de 1987, pp. 46-49.
- , «The Edge of Spacetime», en *The New Physics*, edición de Paul Davies, Cambridge University Press, Cambridge, 1989, pp. 61-69.
- , *The Universe in a Nutshell*, Bantam, Nueva York, 2001 (hay trad. cast., *El universo en una cáscara de nuez*, Crítica-Planeta, Barcelona, 2002).
- Headrick, Daniel R., «Technological Change», en *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, edición de B. L. Turner II et al., Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- , *The Tentacles of Progress: Technology Transfer in the Age of Imperialism, 1850-1940*, Oxford University Press, Nueva York, 1988.
- , *The Tools of Empire: Technology and European Imperialism in the Nineteenth Century*, Oxford University Press, Nueva York, 1981 (hay trad. cast., *Los*

- instrumentos del imperio: tecnología e imperialismo europeo en el siglo XIX*, Alianza, Madrid, 1989).
- Heiser, Charles B., *Seed to Civilization: The Story of Food*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1990.
- Held, David, y Anthony McGrew, eds., *The Global Transformations Reader: An Introduction to the Globalization Debate*, Polity Press, Cambridge, 2000.
- Held, David, Anthony McGrew, David Goldblatt y Jonathan Perraton, *Global Transformations: Politics, Economics and Culture*, Polity Press, Cambridge, 1999 (hay trad. cast., *Transformaciones globales: política, economía y cultura*, FCE, Buenos Aires, 2002).
- Henry, Donald O., *From Foraging to Agriculture: The Levant at the End of the Ice Age*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1989.
- Hippocratic Writings*, edición e introducción de G. E. R Lloyd, traducción de J. Chadwick y W. N. Mann, Penguin, Harmondsworth, 1978.
- Hobsbawm, E. J., *The Age of Capital*, Abacus, Londres, 1977 (hay trad. cast., *La era del capitalismo*, Guadarrama, Madrid, 1981²).
- , *The Age of Empire*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1987 (hay trad. cast., *La era del imperio*, Crítica, Barcelona, 2003²).
- , *The Age of Extremes*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1994 (hay trad. cast., *Historia del siglo XX: 1914-1991*, Crítica, Barcelona, 2003⁶).
- , *The Age of Revolution, 1789-1848*, 1962, reimpresión, New American Library, Nueva York, 1964 (hay trad. cast., *La era de la revolución: 1789-1848*, Crítica, Barcelona, 2001).
- , *Industry and Empire*, Penguin, Harmondsworth, 1969 (hay trad. cast., *Industria e imperio: historia económica de Gran Bretaña desde 1750 hasta nuestros días*, Crítica, Barcelona, 2001).
- Hodgson, Marshall G. S., *Rethinking World History: Essay on Europe, Islam, and World History*, edición de Edmund Burke III, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- , *The Venture of Islam: Conscience and History in a World Civilization*, 3 vols., University of Chicago Press, Chicago, 1974.
- Hollister, C. Warren, *Medieval Europe: A Short History*, John Wiley, Nueva York, 1982.
- Hsü, Immanuel C. Y., *The Rise of Modern China*, Oxford University Press, Nueva York, 1975.
- Hudson, Pat, *The Industrial Revolution*, Routledge, Londres, 1992.
- Hughes, J. Donald, *An Environmental History of the World: Humankind's Changing Role in the Community of Life*, Routledge, Londres, 2001.
- , ed., *The Face of the Earth: Environment and World History*, M. E. Sharpe, Armonk, N. Y., 1999. [Ensayos sobre la historia mundial desde un enfoque medioambiental].

- Hughes, Sarah Shaver, y Brady Hughes, *Women in World History*, 2 vols., M. E. Sharpe, Armonk, N. Y., 2000.
- Hughes-Warrington, Marnie, «Big History», *Historically Speaking*, noviembre de 2002, pp. 16-20.
- , *Fifty Key Thinkers on History*, Routledge, Londres, 2000.
- Humphrey, Nicholas, *A History of the Mind*, Chatto and Windus, Londres, 1992 (hay trad. cast., *Una historia de la mente: la evolución y el nacimiento de la conciencia*, Gedisa, Barcelona, 1995).
- Humphrey, S. C., «History, Economics, and Anthropology: The Work of Karl Polanyi», *History and Theory* 8 (1969), pp. 165-212.
- Hunt, Lynn, «Send in the Clouds», *New Scientist*, 30 de mayo de 1998, pp. 28-33.
- Huppert, George, *After the Black Death: A Social History of Early Modern Europe*, Indiana University Press, Bloomington, 1986.
- Independent Commission on International Development, *Common Crisis NorthSouth: Cooperation for World Recovery*, Pan, Londres, 1983.
- , *Issues North-South: A Programme for Survival: The Report of the Independent Commission on International Development Issues*, Pan, Londres, 1980.
- Irwin, Geoffrey, *The Prehistoric Exploration and Colonisation of the Pacific*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- Jacob, Margaret C., *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution*, Temple University Press, Filadelfia, 1988.
- , *Scientific Culture and the Making of the Industrial West*, Oxford university Press, Nueva York, 1997.
- Jantsch, Erich, *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*, Pergamon Press, Oxford, 1980.
- Jaspers, Karl, *The Origin and Goal of History*, traducción de Michael Bullock, Yale University Press, New Haven, 1953 (hay trad. cast., *Origen y meta de la historia*, Alianza, Madrid, 1980).
- Jenkins, Keith, ed., *The Postmodern History Reader*, Routledge, Londres, 1997.
- Johanson, Donald C., y Maitland A. Edey, *Lucy: The Beginnings of Humankind*, Simon and Schuster, Nueva York, 1981 (hay trad. cast., *El primer antepasado del hombre*, Planeta, Barcelona, 1987).
- Johanson, Donald, y James Shreeve, *Lucy's Child: The Discovery of a Human Ancestor*, Penguin, Harmondsworth, 1989.
- Johnson, Allen W., y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies: From Foraging Group to Agrarian State*, Stanford University Press, Stanford, 2000 (hay trad. cast., *La evolución de las sociedades: desde los grupos cazadores-recolectores al estado agrario*, Ariel, Barcelona, 2003).
- Johnston, R. J., Peter J. Taylor y Michael J. Watts, eds., *Geographies of Global Change: Remapping the World in the Late Twentieth Century*, Blackwell, Oxford, 1995.

- Jones, E. L., *The European Miracle: Environments, Economies, and Geopolitics in the History of Europe and Asia*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987 (hay trad. cast., *El milagro europeo: entorno, economía y geopolítica en la historia de Europa y Asia*, Alianza, Madrid, 1990).
- , *Growth Recurring: Economic Change in World History*, Clarendon, Oxford, 1988 (hay trad. cast., *Crecimiento recurrente: el cambio económico en la historia mundial*, Alianza, Madrid, 1997).
- Jones, Eric, Lionel Frost y Colin White, *Coming Full Circle: An Economic History of the Pacific Rim*, Westview Press, Boulder, Colo., 1993.
- Jones, Rhys, «Fire Stick Farming», *Australian Natural History*, septiembre de 1969, pp. 224-228.
- , «Folsom and Talgai: Cowboy Archaeology in Two Continents», en *Approaching Australia: Papers from the Harvard Australian Studies Symposium*, edición de Harold Bolitho y Chris Wallace-Crabbe, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1997, pp. 3-50.
- Jones, Steve, *Almost Like a Whale: The Origin of Species Updated*, Anchor, Londres, 2000.
- Kahn, Herman, *On Thermonuclear War*, Princeton University Press, Princeton, 1960.
- Kamen, Henry, *European Society, 1500-1700*, Hutchinson, Londres, 1984 (hay trad. cast., *La sociedad europea, 1500-1700*, Alianza, Madrid, 1986).
- Karttunen, Frances, y Alfred W. Crosby, «Language Death, Language Genesis, and World History», *Journal of World History* 6, n.º 2 (otoño de 1995), pp. 157-174.
- Kates, Robert W., B. L. Turner II y William C. Clark, «The Great Transformation», en *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, edición de R. L. Turner II et al., Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- Kauffman, Stuart, *At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity*, Viking, Londres, 1995.
- Kennedy, Paul, *Preparing for the Twenty-First Century*, Fontana, Londres, 1994 (hay trad. cast., *Hacia el siglo XXI*, Plaza & Janés, Barcelona, 1998⁴).
- , *The Rise and Fall of the Great Powers: Economic Change and Military Conflict from 1500 to 2000*, Unwin Hyman, Londres, 1988 (hay trad. cast., *Auge y caída de las grandes potencias*, Plaza & Janés, Barcelona, 1998⁴).
- Khazanov, Anatoly M., *Nomads and the Outside World*, traducción de Julia Crookenden, University of Wisconsin Press, Madison, 1994².
- Kicza, John E., «The Peoples and Civilizations of the Americans before Contact», en *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, Filadelfia, 2001.
- Kiple, Kenneth F., introducción a *The Cambridge World History of Human Disease*, edición de Kenneth F. Kiple, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.

- , ed., *The Cambridge World History of Human Disease*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- Klein, Richard G., *The Human Career: Human Biological and Cultural Origins*, University of Chicago Press, Chicago, 1999².
- , *Ice Age Hunters of the Ukraine*, University of Chicago Press, Chicago, 1973.
- Knapp, A. Bernard, *The History and Culture of Ancient Western Asia and Egypt*, Dorsey Press, Chicago, 1988.
- Knudston, Peter, y David Suzuki, *Wisdom of the Elders*, Bantam, Nueva York, 1992.
- Kohl, Philip L., ed., *The Bronze Age Civilization of Central Asia: Recent Soviet Discoveries*, M. E. Sharpe, Armonk, N. Y., 1981.
- Kuhn, Thomas, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1970² (hay trad. cast., *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México, 1986¹⁰).
- Kuppuram, G., y K. Kumudamani, *History of Science and Technology in India*, 12 vols., Sundeep Prakashan, Delhi, 1990.
- Kutter, G. Siegfried, *The Universe and Life: Origins and Evolution*, Jones and Bartlett, Boston, 1987.
- Lambert, David, *The Cambridge Guide to Prehistoric Man*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987 (hay trad. cast., *Guía de Cambridge del hombre prehistórico*, Edaf, Madrid, 1988).
- , *The Cambridge Guide to the Earth*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988 (hay trad. cast., *Guía de Cambridge de la tierra*, Edaf, Madrid, 1988).
- Landes, David S., *Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World*, Harvard University Press, Belknap Press, Cambridge, Mass., 1983.
- , *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*, Cambridge University Press, Londres, 1969 (hay trad. cast., *Progreso tecnológico y revolución industrial*, Tecnos, Madrid, 1979).
- , *The Wealth and Poverty of Nations: Why Some Are So Rich and Some Are So Poor*, Little, Brown, Nueva York, 1998 (hay trad. cast., *La riqueza y la pobreza de las naciones: por qué algunas son tan ricas y otras son tan pobres*, Crítica, Barcelona, 2003²).
- Leakey, R. E., *The Making of Mankind*, M. Joseph, Londres, 1981. [Revisada, junto con Roger Lewin, como *Origins Reconsidered*]. (Hay trad. cast., *La formación de la humanidad*, RBA, Barcelona, 2004).
- , *The Origin of Humankind*, Basic Books, Nueva York, 1994. [Fantástica introducción a los orígenes del ser humano escrita por un pionero]. (Hay trad. cast., *El origen de la humanidad*, Debate, Madrid, 2000).
- Leakey, Richard, y Roger Lewin, *Origins Reconsidered*, Abacus, Londres, 1992 (hay trad. cast., *Nuestros orígenes: en busca de lo que nos hace humanos*, Crítica, Barcelona, 1994).

- , *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind*, Doubleday, Nueva York, 1995 (hay trad. cast., *La sexta extinción: el futuro de la vida y de la humanidad*, Tusquets, Barcelona, 1998²).
- Lee, Richard, *The !Kung San: Men, Women, and Work in a Foraging Society*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
- Le Roy Ladurie, Emmanuel, *The Peasants of Languedoc*, traducción de John Day, University of Illinois Press, Urbana, 1974.
- Leutenegger, Walter, «Sexual Dimorphism: Comparative and Evolutionary Perspectives», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Göran Burenhult, vol. 1, *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 B. C.*, University of Queensland Press, St. Lucia, 1993, p. 41.
- Levathes, Louise, *When China Ruled the Seas: The Treasure Fleet of the Dragon Throne, 1405-1433*, Simon and Schuster, Nueva York, 1994.
- Lewin, Roger, *Complexity: Life on the Edge of Chaos*, Phoenix, Londres, 1993 (hay trad. cast., *Complejidad, el caos como generador de orden*, Tusquets, Barcelona, 2002).
- , *Human Evolution: An Illustrated Introduction*, Blackwell, Oxford, 1999 (hay trad. cast., *Evolución humana*, Salvat, Barcelona, 1994).
- Lewis, Archibald R., *Nomads and Crusaders, A. D. 1000-1368*, Indiana University Press, Bloomington, 1991.
- Lewis, Martin W., y Kären E. Wigen, *The Myth of Continents: A Critique of Metageography*, University of California Press, Berkeley, 1997.
- Lewis, Robert, «Technology and the Transformation of the Soviet Economy», en *The Economic Transformation of the Soviet Union, 1913-1945*, edición de R. W. Davies, Mark Harrison, y S. G. Wheatcroft, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.
- Liebes, Sidney, Elisabet Sahtouris, y Brian Swimme, *A Walk through Time: From Stardust to Us: The Evolution of Life on Earth*, John Wiley, Nueva York, 1998.
- Lineweaver, Charles, «Our Place in the Universe», en *To Mars and Beyond: Search for the Origins of Life*, edición de Malcolm Walter, National Museum of Australia, Canberra, 2002.
- Lis, Catharina, y Hugo Soly, *Poverty and Capitalism in Pre-Industrial Europe*, traducción de James Coonan, Humanities Press, Atlantic Highlands, N. J., 1979 (hay trad. cast., *Pobreza y capitalismo en la Europa preindustrial*, Akal, Torrejón de Ardoz, 1982²).
- Liu, Xinru, «The Silk Road: Overland Trade and Cultural Interactions in Eurasia», en *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, Filadelfia, 2001.
- Livingston, John A., *Rouge Primate: An Exploration of Human Domestication*, Roberts Rinehart, Boulder, Colo., 1994.

- Lloyd, Christopher, «Can There Be a Unified Theory of Cosmic-Ecological World History? A Critique of Fred Spier's Construction of “Big History”», *Focaal*, n.º 29 (1997), pp. 171-180.
- , *The Structures of History*, Blackwell, Oxford, 1993.
- Lockard, Craig, «Global Historians and the Great Divergence», *World History Bulletin* 17, n.º 1 (otoño de 2000), pp. 17 y 32-34.
- Lomborg, Bjørn, *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001 (hay trad. cast., *El ecologista escéptico*, Espasa Calpe, Madrid, 2003).
- Long, Charles H., *Alpha: The Myths of Creation*, 1963, reimpresión, Scholars Press and the American Academy of Religion, Chico, Calif., 1983. [Una de las mejores antologías de los mitos de la creación publicadas en inglés].
- Lopez, Robert S., *The Commercial Revolution of the Middle Ages, 950-1350*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1971 (hay trad. cast., *La revolución comercial en la Europa medieval*, El Albir, Barcelona, 1981).
- Lourandos, Harry, *Continent of Hunter-Gatherers*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- Lovelock, J. E., *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth*, Oxford University Press, Oxford, 1988 (hay trad. cast., *Las edades de Gaia: una biografía de nuestro planeta vivo*, Tusquets, Barcelona, 1993).
- , *Gaia: A New Look at Life on Earth*, 1979, reimpresión, Oxford University Press, Oxford, 1987 (hay trad. cast., *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, Hermann Blume, Madrid, 1983).
- , *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine*, Unwin, Londres, 1991. [Este libro de Lovelock proporciona una rica pero polémica teoría sobre el papel de la vida en la historia del planeta]. (Hay trad. cast., *Gaia: una ciencia para curar el planeta*, Integral, Barcelona, 1992).
- Lunine, Jonathan I., *Earth: Evolution of a Habitable World: New Perspectives in Australian Prehistory*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Lyotard, Jean-François, *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*, traducción de Geoff Bennington y Brian Massumi, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1984 (hay trad. cast., *La condición posmoderna: informe sobre el saber*, Cátedra, Madrid, 2000⁷).
- Macdougall, J. D., *A Short History of Planet Earth: Mountains, Mammals, Fire, and Ice*, John Wiley, Nueva York, 1996.
- MacNeish, Richard S., *The Origins of Agriculture and Settled Life*, University of Oklahoma Press, Norman, 1992.
- Maddison, Angus, *The World Economy: A Millennial Perspective*, OECD, París, 2001 (hay trad. cast., *La economía mundial: una perspectiva milenaria*, ECDE, Madrid, 2002).

- Maisels, Charles Keith, *The Emergence of Civilization: From Hunting and Gathering to Agriculture, Cities, and the State in the Near East*, Routledge, Londres, 1990.
- Mallory, J. P., *In Search of the Indo-Europeans: Language, Archaeology, and Myth*, Thames and Hudson, Londres, 1989.
- Man, John, *Atlas of the Year 1000*, Harvard University Press, Harvard, 1999.
- Mandel, Ernst, *Late Capitalism*, traducción de Joris De Bres, edición revisada, Verso, Londres, 1978.
- Mann, Michael, *The Sources of Social Power*, vol. 1, *A History of Power from the Beginning to A. D. 1760*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986 (hay trad. cast., *Las fuentes del poder social*, vol. 1, *Una historia del poder desde los comienzos hasta 1760*, Alianza, Madrid, 1991-1997).
- Marcus, George E., y Michael M. J. Fischer, *Anthropology as Cultural Critique: An Experimental Moment in the Human Sciences*, University of Chicago Press, Chicago, 1986 (hay trad. cast., *La antropología como crítica cultural: un momento experimental en las ciencias humanas*, Amorrortu, Buenos Aires, 2000).
- Margulis, Lynn, y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987 (hay trad. cast., *Microcosmos: cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos*, Tusquets, Barcelona, 1995).
- , *What Is Life?*, University of California Press, Berkeley, 1995 (hay trad. cast., *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona, 1996).
- Marks, Robert B., *The Origins of the Modern World: A Global and Ecological Narrative*, Rowman and Littlefield, Lanham, 2002.
- Marwick, Arthur, *The Nature of History*, Macmillan, Londres, 1970.
- Marx, Karl, *Capital: A Critique of Political Economy*, vol. 1, traducción de Ben Fowkes, Penguin, Harmondsworth, 1976 (hay trad. cast., *El capital*, vol. 1, Folio, Barcelona, 1997).
- , *Capital: A Critique of Political Economy*, vol. 3, traducción de David Fernbach, Penguin, Harmondsworth, 1981 (hay trad. cast., *El capital*, vol. 3, Folio, Barcelona, 1997).
- , *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, traducción de Martin Nicolaus, Penguin, Harmondsworth, 1973 (hay trad. cast., *Grundrisse: lineamientos fundamentales para la crítica de la economía política: 1857-1858*, 2 vols., FCE, México, 1985).
- Mathias, Peter, *The First Industrial Nation: An Economic History of Britain, 1700-1914*, Methuen, Londres, 1983.
- Mathias, Peter, y John A. Davis, eds., *The First Industrial Revolutions*, Blackwell, Oxford, 1989.

- Maynard Smith, John, *The Theory of Evolution*, Penguin, Nueva York, 1975³ (hay trad. cast., *Teoría de la evolución*, Istmo, Madrid, 1972³).
- Maynard Smith, John, y Eörs Szathmáry, *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origins of Language*, Oxford University Press, Oxford, 1999 (hay trad. cast., *Ocho hitos de la evolución: del origen de la vida a la aparición del lenguaje*, Barcelona, 2001).
- Mayr, Ernst, *One Long Argument: Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*, Penguin, Londres, 1991 (hay trad. cast., *Una larga controversia: Darwin y el darwinismo*, Crítica, Barcelona, 1992).
- Mazlish, Bruce, y Ralph Buultjens, eds., *Conceptualizing Global History*, Westview Press, Boulder, 1993.
- McBrearty, Sally, y Alison S. Brooks, «The Revolution That Wasn't: A New Interpretation of the Origin of Modern Human Behavior», *Journal of Human Evolution* 39 (2000), pp. 453-563.
- McClellan, James E., III, y Harold Dorn, *Science and Technology in World History: An Introduction*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1999.
- McCrone, John, *The Ape That Spoke*, Macmillan, Basingstoke, 1990.
- , *How the Brain works: A Beginner's Guide to the Mind and Consciousness*, Dorling Kindersley, Londres, 2002.
- McKeown, Thomas, *The Origins of Human Disease*, Oxford University Press, Oxford, 1998 (hay trad. cast., *Los orígenes de las enfermedades humanas*, Crítica, Barcelona, 1990).
- McMichael, A. J., *Planetary Overload: Global Environmental Change and the Health of the Human Species*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- McNeill, J. R., «Of Rats and Men: A Synoptic Environmental History of the Island Pacific», *Journal of World History* 5, n.º 2 (otoño de 1994), pp. 299-349.
- , *Something New under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*, W. W. Norton, Nueva York, 2000.
- McNeill, J. R., y William H. McNeill, *The Human Web: A Bird's-Eye View of World History*, W. W. Norton, Nueva York, 2003 (hay trad. cast., *Las redes humanas: una historia global del mundo*, Crítica, Barcelona, 2004).
- McNeill, William H., *The Disruption of Traditional Forms of Nurture*, Het Spinhuis, Amsterdam, 1998.
- , *A History of the Human Community*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1990.
- , «History and the Scientific Worldview», *History and Theory* 37, n.º 1 (1998), pp. 1-13.
- , *Keeping Together in Time: Dance and Drill in Human History*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1995.
- , *Mythistory and Other Essays*, University of Chicago Press, Chicago, 1985.
- , *Plagues and People*, Blackwell, Oxford, 1977 (hay trad. cast., *Plagas y pueblos*, Siglo XXI, Madrid, 1984).

- , *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society Since A. D. 1000*, Blackwell, Oxford, 1982 (hay trad. cast., *La búsqueda del poder: tecnología, fuerzas armadas y sociedad desde el 1000 d. C.*, Siglo XXI, Madrid, 1989).
- , *The Rise of the West: A History of the Human Community*, University of Chicago Press, Chicago, 1963. [Probablemente todavía la mejor historia del mundo en un volumen, menos eurocéntrica que lo que indica su título. Actualizado, pero menos interesante, es el libro de texto de McNeill titulado *A History of the Human Community*.] (Hay trad. cast., *La civilización de Occidente*, Ed. Universitaria, Río Piedras, Puerto Rico, 1972⁴).
- McSween, Harry Y., Jr., *Fanfare for Earth: The Origin of Our Planet and Life*, St. Martin's Press, Nueva York, 1997.
- Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows y Jørgen Randers, *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*, Chelsea Green, Post Mills, Vt., 1992 (hay trad. cast., *Más allá de los límites del crecimiento*, El País, Aguilar, Madrid, 1994³).
- Meadows, Donella H., et al., *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Universe Books, Nueva York, 1972. [Tanto este libro, como el anterior, proponen modelos del futuro.] (Hay trad. cast., *Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*, FCE, México, 1972).
- Mears, John, «Agricultural Origins in Global Perspective», en *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, 2001, pp. 36-70.
- Megarry, Tim, *Society in Prehistory: The Origins of Human Culture*, Macmillan, Basingstoke, 1995.
- Merson, John, *Roads to Xanadu: East and West in the Making of the Modern World*, Child and Associates, French's Forest, N. S. W., 1989.
- Miller, Walter M., *A Canticle for Leibowitz*, 1959, reimpresión, Bantam, Nueva York, 1997 (hay trad. cast., *Cántico por Leibowitz*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1999).
- Mithen, Steven, *The Prehistory of the Mind: A Search for the Origins of Art, Religion, and Science*, Thames and Hudson, Londres, 1996 (hay trad. cast., *Arqueología de la mente: orígenes del arte, de la religión y de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 1998).
- Modelska, George, y William R. Thomson, *Leading Sectors and World Powers: The Coevolution of Global Politics and Economics*, University of South Carolina Press, Columbia, 1996. [Un intento por definir los ciclos Kondratieff para el pasado milenario].
- Mokyr, Joel, *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford University Press, Nueva York, 1990 (hay trad. cast., *La palanca de la*

riqueza: creatividad tecnológica y progreso económico, Alianza, Madrid, 1993).

Morrison, Philip, y Phylis Morrison, *Powers of Ten: A Book about the Relative Size of Thinking in the Universe and the Effect of Adding Another Zero*, Scientific American Library, Redding, Conn., dist. por W. H. Freeman, San Francisco, 1982 (hay trad. cast., *Potencias de diez: libro que trata de los objetos del universo y del efecto que produce añadir otro cero*, Prensa Científica, Barcelona, 1984²).

al-Mulk, Nizam, *The Book of Government, or Rules for Kings*, traducción de Hubert Darke, Routledge, Londres, 1978².

Mulvaney, John, y Johan Kamminga, *Prehistory of Australia*, Allen and Unwin, Sidney, 1999.

Myers, Norman, *The Sinking Ark: A New Look at the Problem of Disappearing Species*, Pergamon Press, Oxford, 1979. [Una obra clásica sobre la extinción y la pérdida de la biodiversidad].

Needham, Joseph, *Science and Civilisation in China*, 7 vols., Cambridge University Press, Cambridge, 1954-2003.

Needham, Joseph, y Lu Gwei-djen, *Trans-Pacific Echoes and Resonances: Listening Once Again*, World Scientific, Singapur, 1984. [Resume los escasos indicios de los contactos transpacíficos antes de Colón].

Nhat Hanh, Thich, *The Diamond That Cuts through Illusion: Commentaries on the Prajñaparamita Diamond Sutra*, traducción de Anh Huong Nguyen, Parallax, Berkeley, 1992.

—, *The Heart of Understanding: Commentaries on the Prajñaparamita Heart Sutra*, edición de Peter Levitt, Parallax, Berkeley, 1988.

Nisbet, E. G., *Living Earth-A Short History of Life and Its Home*, HarperCollins Academic Press, Londres, 1991.

Nissen, Hans Jörg, *The Early History of the Ancient Near East, 9000-2000 B. C.*, traducción de Elizabeth Lutzeier, junto con Kenneth J. Northcott, University of Chicago Press, Chicago, 1988.

Nitecki, Matthew H., y Doris V. Nitecki, eds., *History and Evolution*, State University of New York, Albany, 1992.

North, Douglass C., *Structure and Change in Economic History*, W. W. Norton, Nueva York, 1981 (hay trad. cast., *Estructura y cambio en la historia económica*, Alianza, Madrid, 1984).

North, Douglass C., y Robert Paul Thomas, *The Rise of the Western World*, Cambridge University Press, Cambridge, 1973 (hay trad. cast., *El nacimiento del mundo occidental: una nueva historia económica, 900-1700*, Siglo xxi, Madrid, 1991).

Nyanatiloka, *Buddhist Dictionary: Manual of Buddhist Terms and Doctrines*, Frewin, Colombo (Sri Lanka), 1972.

- Oates, David, y Joan Oates, *The Rise of Civilization*, Elsevier Phaidon, Oxford, 1976 (hay trad. cast., *La cuna de la civilización*, 2 vols., Folio, Barcelona, 1994).
- O'Brien, Patrick, «Introduction: Modern Conceptions of the Industrial Revolution», en *The Industrial Revolution and British Society*, edición de Patrick O'Brien y Roland Quinault, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- , «Is Universal History Possible?», *Nineteenth International Congress of Historical Sciences*, Nasjonalbiblioteket, Oslo, 2000.
- , «Political Preconditions for the Industrial Revolution», en *The Industrial Revolution and British Society*, edición de Patrick O'Brien y Roland Quinault, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- O'Brien, Patrick, y Caglar Keyder, *Economic Growth in Britain and France, 1780-1914: Two Paths to the Twentieth Century*, Allen and Unwin, Londres, 1978.
- O'Brien, Patrick, y Roland Quinault, eds., *The Industrial Revolution and British Society*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- Ogilvie, Sheilagh, y Markus Cerman, eds., *European Proto-Industrialization: An Introductory Handbook*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- Okladnikov, A. P., «Inner Asia at the Dawn of History», en *Cambridge History of Early Inner Asia*, edición de Denis Sinor, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, pp. 41-96.
- Oliver, Roland, *The African Experience: From Olduvai George to the TwentyFirst Century*, Westview Press, Boulder, Colo., 2000.
- Overton, Mark, *Agricultural Revolution in England: The Transformation of the Agrarian Economy, 1500-1850*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- Pacey, Arnold, *Technology in World Civilization*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1990.
- Packard, Edward, *Imagining the Universe: A Visual Journey*, Perigee Books, Nueva York, 1994.
- Parker, Geoffrey, *The Military Revolution: Military Innovation and the Rise of the West, 1500-1800*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996² (hay trad. cast., *La revolución militar: innovación militar y apogeo de Occidente 1500-1800*, Alianza, Madrid, 2002).
- , ed., *The World: An Illustrated History*, Harper and Row, Nueva York, 1986. [Maravillosamente ilustrado].
- Pearson, M. N., «Merchants and States», en *The Political Economy of Merchant Empires: State Power and World Trade, 1350-1750*, edición de James D. Tracy, Cambridge University Press, Cambridge, 1991, pp. 41-116.
- Penrose, Roger, *The Emperor's New Mind: Converning Computers, Minds, and the Laws of Physics*, Vintage, Londres, 1990 (hay trad. cast., *La nueva mente del emperador*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1996).

- Pinker, Steven, *How the Mind Works*, W. W. Norton, Nueva York, 1997 (hay trad. cast., *Cómo funciona la mente*, Destino, Barcelona, 2004).
- , *The Language Instinct: The New Science of Language and Mind*, Penguin, Nueva York, 1994 (hay trad. cast., *El instinto del lenguaje: cómo crea el lenguaje la mente*, Alianza, Madrid, 1999).
- Plotkin, Henry, *Evolution in Mind: An Introduction to Evolutionary Psychology*, Penguin, Londres, 1997.
- Polanyi, Karl, *The Great Transformation: The Political and Economic Origins of Our Time*, Beacon, Boston, 1957 (hay trad. cast., *La gran transformación: crítica del liberalismo económico*, La Piqueta, Madrid, 1989).
- Polanyi, Karl, Conrad M. Arensberg y Harry W. Pearson, eds., *Trade and Market in the Early Empires: Economies in History and Theology*, Free Press, Glencoe, Ill., 1957 (hay trad. cast., *Comercio y mercado en los imperios antiguos*, Labor, Barcelona, 1976).
- Pollock, Susan, *Ancient Mesopotamia: The Eden that Never Was*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Pomeranz, Kenneth, *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*, Princeton University Press, Princeton, 2000.
- Pomeranz, Kenneth, y Steven Topik, *The World That Trade Created: Society Culture, and the World Economy, 1400 to the Present*, M. E. Sharpe, Armonk, N. Y., 1999.
- Pomper, Philip, Richard H. Elphick, y Richard T. Vann, eds., *World History: Ideologies, Structures, and Identities*, Blackwell, Oxford, 1998.
- Ponting, Clive, *A Green History of the World*, Penguin, Harmondsworth, 1992. [La mejor introducción breve sobre el impacto del hombre en el medio ambiente]. (Hay trad. cast., *Historia verde del mundo*, Paidós, Barcelona, 1992).
- , *World History: a New Perspective*, Chatto and Windus, Londres, 2000.
- Poole, Ross, *Nation and Identity*, Routledge, Londres, 1999.
- Popol Vuh: The Mayan Book of the Dawn of Life*, traducción de Dennis Tedlock, edición revisada, Simon and Schuster, Nueva York, 1996 (hay trad. cast., *Popol-Vuh: antiguas historias de los indios quiches de Guatemala*, Porrúa, México, 1966¹¹).
- Porter, Gareth, Janet Welsh Brown y Pamela S. Chasek, *Global Environmental Politics*, Westview Press, Boulder, 2000³.
- Potts, D. T., *Mesopotamian Civilization: the Material Foundations*, Cornell University Press, Ithaca, N. Y., 1997.
- Potts, Malcolm, y Roger Short, *Ever Since Adam and Eve: The Evolution of Human Sexuality*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- Prantzlos, Nikos, *Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

- Praslov, N. D., «Late Palaeolithic Adaptations to the Natural Environment on the Russian Plain», *Antiquity* 63 (1989), pp. 784-787.
- Priem, H. N. A., *Aarde en Leven: Het leven in relatie tot zijn planetaire omgeving/Earth and Life: Life in Relation to Its Planetary Environment*, Kluwer, Dordrecht, 1993.
- Prigogine, Ilya, e Isabelle Stengers, *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*, Heinemann, Londres, 1984.
- Psillos, Stathis, *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*, Routledge, Londres, 1999.
- Pyne, Stephen, *Fire in America: A Cultural History of Wildland and Rural Fire*, Princeton University Press, Princeton, 1982.
- , *Vestal Fire: An Environmental History*, University of Washington Press, Seattle, 1997.
- Rahman, Abdur, ed., *Science and Technology in Indian Culture: A Historical Perspective*, National Institute of Science, Technology, and Development Studies, Nueva Delhi, 1984.
- Rasmussen, Birger, «Filamentous Microfossils in a 3,235-Million-Year-Old Volcanogenic Massive Sulphide Deposit», *Nature*, 8 de junio de 2000, pp. 676-679.
- Redman, Charles L., «Mesopotamia and the First Cities», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Göran Burenhult, vol. 3, *Old World Civilizations: The Rise of Cities and States*, University of Queensland Press, Santa Lucía, 1994.
- Rees, Martin, *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe*, Basic Books, Nueva York, 2000 (hay trad. cast., *Seis números nada más*, Debate, Barcelona, 2001).
- Reeves, Hubert, Joël de Rosnay, Yves Coppens y Dominique Simonnet, *Origins: Cosmos, Earth, and Mankind*, Arcade Publishing, Nueva York, 1998 (hay trad. cast., *La historia más bella del mundo. Los secretos de nuestros orígenes*, Anagrama, Barcelona, 1997).
- Renfrew, Colin, *Archaeology and Language: The Puzzle of Indo-European Origins*, Penguin, Harmondsworth, 1987 (hay trad. cast., *Arqueología y lenguaje: la cuestión de los orígenes indoeuropeos*, Crítica, Barcelona, 1990).
- Renfrew, Colin, y Stephen Shennan, eds., *Ranking, Resource, and Exchange: Aspects of the Archaeology of Early European Society*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- Ridley, Matt, *Evolution*, Blackwell, Oxford, 1993. [Una introducción al moderno neodarwinismo].
- , *Genome: The Autobiography of a Species in Twenty-three Chapters*, Fourth Estate, Londres, 1999. [Un espléndido conjunto de ensayos sobre aspectos de

- la genética moderna.] (Hay trad. cast., *Genoma, la autobiografía de una especie en 23 capítulos*, Taurus, Madrid, 2001).
- The Rig Veda: An Anthology: One Hundred and Eight Hymns*, selección, edición y traducción de Wendy Doniger O'Flaherty, Penguin, Harmondsworth, 1981.
- Rindos, David, *Origins of Agriculture: An Evolutionary Perspective*, Academic Press, Nueva York, 1984 (hay trad. cast., *Los orígenes de la agricultura: una perspectiva evolucionista*, Ediciones Bellaterra, Barcelona, 1990).
- Ringrose, David R., *Expansion and Global Interaction, 1200-1700*, Longman, Nueva York, 2001.
- Roberts, J. M., *The Pelican History of the World*, edición revisada, Penguin, Harmondsworth, 1988.
- Roberts, Neil, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998².
- Roberts, Richard G., «Thermoluminescence Dating», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Göran Burenhylt, vol. 1, *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 B. C.*, University of Queensland Press, St. Lucia, 1993, pp. 152-153.
- Roberts, Richard G., Timothy F. Flannery, Linda K. Ayliffe, Hiroyuki Yoshida, et al., «New Ages for the Last Australian Megafauna: Continent-wide Extinction about 46,000 Years Ago», *Science*, 8 de junio de 2001, pp. 1888-1892.
- Rose, Deborah Bird, *Nourishing Terrains: Australian Aboriginal Views of Landscape and Wilderness*, Australian Heritage Commission, Canberra, 1996.
- Rose, Steven, ed., *From Brains to Consciousness? Essays on the New Sciences of the Mind*, Penguin, Londres, 1999.
- Rowlands, Michael, «Centre and Periphery: A Review of a Concept», en *Centre and Periphery in the Ancient World*, edición de Michael Rowlands, Mogens Larsen y Kristian Kristiansen, Cambridge University Press, Cambridge, 1987, pp. 1-11.
- The Russian Primary Chronicle: Laurentian Text*, traducción y edición de Samuel Hazzard Cross y Olgerd P. Sherbovitz-Wetzor, Mediaeval Academy of America, Cambridge, Mass., 1953.
- Sabloff, Jeremy A., y C. C. Lamberg-Karlovsky, eds., *Ancient Civilization and Trade*, University of New Mexico Press, Albuquerque, 1975.
- Sahlins, Marshall, «The Original Affluent Society», en *Stone Age Economics*, Tavistock, Londres, 1972, pp. 1-39. [Este ensayo es extraordinario; los demás también son dignos de ser leídos].
- , *Tribesmen*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1968 (hay trad. cast., *Las sociedades tribales*, Labor, Barcelona, 1984).
- Salmon, Wesley C., *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University Press, Princeton, 1984.
- Sanderson, Stephen K., «Expanding World Commercialization: The Link between World Systems and Civilizations», en *Civilizations and World Systems*:

- Studying World-Historical Change*, edición de Stephen K. Sanderson, Altamira Press, Walnut Creek. Calif., 1995.
- , *Social Transformations: A General Theory of Historical Development*, Blackwell, Londres, 1995.
- , ed., *Civilizations and World Systems: Studying World-Historical Change*, Altamira Press, Walnut Creek, Calif., 1995.
- Sarich, Vincent, y Alan Wilson, «Immunological Time Scale for Hominid Evolution», *Science*, 1 de diciembre, 1967, pp. 1200-1203.
- Schneider, Stephen H., *Laboratory Earth: The Planetary Gamble We Can't Afford to Lose*, Phoenix, Londres, 1997.
- Schrire, Carmel, ed., *Past and Present in Hunter Gatherer Studies*, Academic Press, Orlando, Fla., 1985.
- Schrödinger, Erwin, *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, junto con *Mind and Matter* y *Autobiographical Sketches*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992. [What Is Life? Se publicó inicialmente en 1944]. (Hay trad. cast. ¿Qué es la vida?, Tusquets, Barcelona, 2001⁵; *Mente y materia: conferencias Tarner*, Tusquets, Barcelona, 1999⁵).
- Schumpeter, Joseph A., *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, McGraw-Hill, Nueva York, 1939 (hay trad. cast., *Ciclos económicos: análisis teórico, histórico y estadístico del proceso capitalista*, Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 2002).
- Scott, Joan W., «Gender: A Useful Category of Historical Analysis», *American Historical Review* 75, n.º 5 (diciembre de 1986), pp. 1053-1075.
- Sept, Jeanne M., y George E. Brooks, «Reports of chimpanzee Natural History, Including Tool Use, in Sixteenth-and Seventeenth-Century Sierra Leone», *International Journal of Primatology* 15, n.º 6 (diciembre de 1994), pp. 867-877.
- Service, Elman R., *Primitive Social Organization: An Evolutionary Perspective*, Random House, Nueva York, 1971². [Primera edición, 1962].
- Shaffer, Lynda, «Southernization», en *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, edición de Michael Adas, Temple University Press, Filadelfia, 2001, pp. 308-324. [Publicado inicialmente en *Journal of World History* 5, n.º 1 (primavera de 1994), pp. 1-21].
- Shannon, Thomas R., *An Introduction to the World-System Perspective*, Westview Press, Boulder, Colo., 1996.
- Shapin, Steven, *The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1996 (hay trad. cast., *La revolución científica: una interpretación alternativa*, Paidós, Barcelona, 2000).
- Shapiro, Robert, *Origins: A Skeptic's Guide to the Creation of Life on Earth*, Penguin, Londres, 1986 (hay trad. cast., *Orígenes: lo que sabemos actualmente sobre el origen de la vida*, Salvat, Barcelona, 1994).

- Sherratt, Andrew, *Economy and Society in Prehistoric Europe: Changing Perspectives*, Princeton University Press, Princeton, 1997.
- , «Plough and Pastoralism: Aspects of the Secondary Products Revolution», en *Patterns of the Past: Studies in Honour of David Clarke*, edición de Ian Hodder, Glynn Isaac y Norman Hammond, Cambridge University Press, Cambridge, 1981, pp. 261-305.
- , «Reviving the Grand Narrative: Archaeology and Long-Term Change», *Journal of European Archaeology* 3, n.º 1 (1995), pp. 1-32.
- , «The Secondary Exploitation of Animals in the Old World» (revisado en 1983), en *Economy and Society in Prehistoric Europe: Changing Perspectives*, Princeton University Press, Princeton, 1997, pp. 199-228.
- Silk, Joseph, *The big bang: The Creation and Evolution of the Universe*, W. H. Freeman, San Francisco, 1980.
- Simmons, I. G., *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*, Blackwell, Oxford, 1996.
- , *Environmental History: A Concise Introduction*, Blackwell, Oxford, 1993.
- Sinor, Denis, ed., *The Cambridge History of Early Inner Asia*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- Smil, Vaclav, *Energy in World History*, Westview Press, Boulder, Colo., 1994.
- Smith, Adam, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, edición de Edwin Cannan, Modern Library, Nueva York, 1937 (hay trad. cast., *Investigación de la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, 3 vols., Orbis, Esplugues de Llobregat, 1985).
- Smith, Bonnie, *The Gender of History: Men, Women, and Historical Practice*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1998.
- Smith, Bruce D., *The Emergence of Agriculture*, Scientific American Library, Nueva York, 1995.
- Smolin, Lee, *The Life of the Cosmos*, Phoenix, Londres, 1998.
- Snooks, G. D., *The Dynamic Society: Exploring the Sources of Global Change*, Routledge, Londres, 1996.
- , *The Ephemeral Civilization: Exploring the Myth of Social Evolution*, Routledge, Londres, 1997.
- , ed., *Was the Industrial Revolution Necessary?*, Routledge, Londres, 1994.
- Snyder, John, y C. Leland Rodgers, *Biology*, Barron's, Nueva York, 1995³.
- Snyder, Lee Daniel, *Macro-History: A Theoretical Approach to Comparative World History*, Edwin Mellen Press, Lewiston, N. Y., 1999.
- Sobel, Dava, *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Walker, Nueva York, 1995 (hay trad. cast., *Longitud: la verdadera historia de un genio solitario que resolvió el mayor problema científico de su tiempo*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1999).

- Soffer, Olga, «The Middle to Upper Paleolithic Transition on the Russian Plain», en *The Human Revolution*, edición de Paul Mellars y Chris Stringer, Edinburgh University Press, Edinburgo, 1989, pp. 714-742.
- , «Patterns of Intensification as Seen from the Upper Paleolithic of the Central Russian Plain», en *Prehistoric Hunter-Gatherers: The Emergence of Cultural Complexity*, edición de T. Douglas Price y James A. Brown, Academic Press, Orlando, 1985, pp. 235-270.
- , «Storage, Sedentism, and the Eurasian Palaeolithic Record», *Antiquity* 63 (1989), pp. 719-732.
- , «Sungir: A Stone Age Burial Site», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Göran Burenhult, vol. 1, *The first Humans: Human Origins and History to 10,000 B. C.*, University of Queensland Press, St. Lucia, 1993, pp. 138-139.
- Solé, Ricard, y Brian Goodwin, *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology*, Basic Books, Nueva York, 2000.
- Spier, Fred, *The Structure of Big History: From the big bang until Today*, Amsterdam University Press, Amsterdam, 1996.
- Spodek, Howard, *The World's History*, Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J., 2001.
- Sproul, Barbara, *Primal Myths: Creation Myths around the World*, reimpresión, HarperSanFrancisco, San Francisco, 1991.
- Stableford, Brian, y David Langford, *The Third Millenium: A History of the Wolrd AD 2000-3000*, Sidgwick and Jackson, Londres, 1985.
- Stanford, Craig B., *The Hunting Apes: Meat Eating and the Origins of Human Behavior*, Princeton University Press, Princeton, 1999.
- , *Significant Others: The Ape-Human Continuum and the Quest for Human Nature*, Basic Books, Nueva York, 2001.
- Stanley, Steven M., *Children of the Ice Age: How a Global Catastrophe Allowed Humans to Evolve*, 1996, reimpresión, W. H. Freeman, Nueva York, 1998.
- , *Earth and Life through Time*, W. H. Freeman, Nueva York, 1986.
- Stavrianos, L. S., *Lifelines from Our Past: A New World History*, W. H. Freeman, Nueva York, 1989. [Un ensayo de interpretación de uno de los pioneros en la historia mundial; utiliza una versión simplificada de la tipología de Eric Wolf].
- Stearns, Peter N., *The Industrial Revolution in World History*, Westview Press, Boulder, Colo., 1993.
- , *Millennium III, Century XXI: A Retrospective on the Future*, Westview Press, Boulder, Colo., 1996.
- Stearns, Peter N., y John H. Hinshaw, *The ABC-CLIO World History Companion to the Industrial Revolution*, ABC-CLIO, Santa Bárbara, Calif., 1996.
- Stokes, Gale, «The Fates of Human Societies: A Review of Recent Macrohistories», *American Historical Review* 106, n.º 2 (abril de 2001), pp. 508-525.

- Stringer, Chris, y Clive Gamble, *In Search of the Neanderthals: Solving the Puzzle of Human Origins*, Thames and Hudson, Londres, 1993.
- Stringer, Chris, y Robin McKie, *African Exodus*, Cape, Londres, 1996.
- Suzuki, David, y Amanda McConnel, *The Sacred Balance: Rediscovering Our Place in Nature*, Allen and Unwin, Leonards, N. S. W., 1997.
- Swain, Tony, *A Place for Strangers: Towards a History of Australian Aboriginal Being*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- Sweezy, Paul, *et al.*, *The Transition from Feudalism to Capitalism*, edición revisada, New Left Books-Humanities Press, Londres-Atlantic Highlands, N. J., 1976 (hay trad. cast., *La transición del feudalismo al capitalismo*, Ayuso, Madrid, 1976).
- Swimme, Brian, y Thomas Berry, *The Universe Story: From the Primordial Flaring Forth to the Ecozoic Era: A Celebration of the Unfolding of the Cosmos*, Harper Sanfrancisco, San Francisco, 1992.
- Taagepera, Rein, «Expansion and Contraction Patterns of Large Polities: Context for Russia», *International Studies Quarterly* 41 (1997), pp. 475-504.
- , «Size and Duration of Empires: Growth-Decline Curves, 3000 to 600 B. C.», *Social Science Research* 7 (1978), pp. 180-196.
- , «Size and Duration of Empires: Growth-Decline curves, 600 B. C. to 600 A. D.», *Social Science Research* 3 (1979), pp. 115-138.
- , «Size and Duration of Empires: Systematics of Size», *Social Science Research* 7 (1978), pp. 108-127.
- Tattersall, Ian, *Becoming Human: Evolution and Human Uniquesess*, Harcourt Brace, Nueva York, 1998 (hay trad. cast., *Hacia el ser humano: la singularidad del hombre y la evolución*, Península, Barcelona, 1998).
- Taylor, Stuart Ross, «The Solar System: An Environment for Life?», en *To Mars and Beyond: Search for the Origins of Life*, edición de Malcolm Walter, National Museum of Australia, Canberra, 2002, pp. 56-67.
- Thompson, E. P., *The Making of the English Working Class*, Victor Gollancz, Londres, 1963 (hay trad. cast., *La formación de la clase obrera en Inglaterra*, 2 vols., Crítica, Barcelona, 1989).
- , *Whigs and Hunters: The Origin of the Black Act*, Allen Lane, Londres, 1975.
- Thompson, William R., «The Military Superiority Thesis and the Ascendancy of Western Eurasia in the World System», *Journal of World History* 10, n.º 1 (1999), pp. 143-178.
- Thorne, Alan G., y Milford H. Wolpoff, «The Multiregional Evolution of Humans», *Scientific American*, abril de 1992, pp. 28-33.
- Thorne, Alan, *et al.*, «Australia's Oldest Human Remains: Age of the Lake Mungo 3 Skeleton», *Journal of Human Evolution* 36 (junio de 1999), pp. 591-612.

- Tickell, C., «The Human Species: A Suicidal Success?», en *The Human Impact Reader: Reading and Case Studies*, edición de Andrew Goudie, Blackwell, Oxford, 1997, pp. 450-459.
- Tilly, Charles, *As Sociology Meets History*, Academic Press, Nueva York, 1981.
- , *Big Structures, Large Processes, Huge Comparison*, Russell Sage Foundation, Nueva York, 1984 (hay trad. cast., *Grandes estructuras, procesos amplios, comparaciones enormes*, Alianza, Madrid, 1991).
- , *Coercion, Capital, and European States, AD 900-1990*, edición revisada, Blackwell, Cambridge, Mass., 1992 (hay trad. cast., *Coerción, capital y los estados europeos: 900-1990*, Alianza, Madrid, 1992).
- Toynbee, Arnold, *A Study of History*, Oxford University Press, Oxford, 1946 (hay trad. cast., *Estudio de la historia*, 3 vols., Alianza, Madrid, 1980⁵).
- Tracy, James D., ed., *The Political Economy of Merchant Empires: State Power and World Trade, 1350-1750*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- , *The Rise of Merchant Empires: Long-Distance Trade in the Early Modern World, 1350-1750*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- Trigger, Brice G., *Early Civilizations: Ancient Egypt in Context*, American University in Cairo Press, Cairo, 1993.
- Tudge, Colin, *The Time before History: Five Million Years of Human Impact*, Scribner, Nueva York, 1996.
- Turner, II, B. L., et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- Van Creveld, Martin L., *Technology and War: From 2000 B. C. to the Present*, Free Press, Nueva York, Collier Macmillan, Londres, 1989.
- Vansina, Jan, «New Linguistic Evidence and “the Bantu Expansion”», *Journal of African History* 36, n.^o 2 (1995), pp. 173-195.
- Voll, John O., «Islam as a Special World-System», en *The New World History: A Teacher’s Companion*, edición de Ross E. Dunn, Bedford/St. Martin’s, Boston, 2000.
- Von Damm, Karen L., «Lost City Found», *Nature*, 12 de julio de 2001, pp. 127-128.
- Von Franz, Marie-Louise, *Creation Myths*, Spring Publications, Dalas, 1972.
- Wallerstein, Immanuel, *The Modern World-System*, 3 vols., Academic Press, Nueva York, 1974-1989 (hay trad. cast., *El moderno sistema mundial*, 3 vols., Siglo XXI, Madrid, 1979-1999).
- , «World-System», en *A Dictionary of Marxist Thought*, edición de Tom Bottomore, Blackwell, Oxford, 1991², pp. 590-591 (hay trad. cast., *Diccionario del pensamiento marxista*, Tecnos, Madrid, 1984).
- Walter, Malcolm, *The Search for Life on Mars*, Allen and Unwin, Sydney, 1999.
- , ed., *To Mars and Beyond: Search for the Origins of Life*, National Museum of Australia, Canberra, 2002.

- Watson, Andrew M., *Agricultural Innovation in the Early Islamic World: The Diffusion of Crops and Farming Techniques, 700-1100*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983 (hay trad. cast., *Innovaciones en la agricultura en los primeros tiempos del mundo islámico: difusión de los distintos cultivos y técnicas agrícolas del año 700 al 1100*, Universidad de Granada, Granada, 1998).
- Watson, James D., *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*, 1968, reimpresión, Penguin, Harmondsworth, 1970 (hay trad. cast., *La doble hélice: un relato autobiográfico sobre el descubrimiento del ADN*, Salvat, Barcelona, 1994).
- Watts, Sheldon, *Epidemics and History: Disease, Power, and Imperialism*, Yale University Press, New Haven, 1998 (hay trad. cast., *Epidemias y poder, historia, enfermedad, imperialismo*, Editorial Andrés Bello, Barcelona, 2000).
- Weber, Max, *The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism*, traducción de Talcott Parsons, 1930, reimpresión, Scribners, Nueva York, 1958 (hay trad. cast., *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*, Península, Barcelona, 2001¹⁸).
- Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, Flamingo, Londres, 1993² (hay trad. cast., *Los tres primeros minutos del universo: una concepción moderna del origen del universo*, Alianza, Madrid, 1984⁶).
- Wells, H. G., *The Outline of History: Being a Plain History of Life and Mankind*, 2 vols., George Newnes, Londres, 1920 (hay trad. cast., *Esquema de la historia*, 2 vols., Imprenta Clásica Española, Madrid, 1925).
- , *A Short History of the World*, Cassell, Londres, 1922 (hay trad. cast., *Breve historia del mundo*, Península, Barcelona, 2004).
- Wenke, Robert J., *Patterns in Prehistory: Humankind's First Three Millions Years*, Oxford University Press, Nueva York, 1990³.
- White, J. Peter, «The Settlement of Ancient Australia», en *The Illustrated History of Humankind*, edición de Göran Burenkult, vol. 1, *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 B.C.*, University of Queensland Press, St. Lucia, 1993, pp. 147-151, 153-157.
- White, J. Peter, y James F. O'Connell, *A Prehistory of Australia, New Guinea and Sahul*, Academic Press, Sidney, 1982.
- Whitmore, Thomas M., et al., «Long-Term Population Change», en *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, edición de B. L. Turner II et al., Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- Wilkinson, David, «Central Civilization», en *Civilizations and World Systems: Studying World-Historical Change*, edición de Stephen K. Sanderson, Altamira, Walnut Creek, Calif., 1995, pp. 46-74.

- Wills, Christopher, *The Runaway Brain: The Evolution of Human Uniqueness*, Basic Books, Nueva York, 1993 (hay trad. cast., *El cerebro fugitivo: la evolución de la singularidad humana*, Paidós, Barcelona, 1994).
- Wilson, Edward O., *Biophilia*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1984.
- , *Consilience: The Unity of Knowledge*, Abacus, Londres, 1998 (hay trad. cast., *Consilience: la unidad del conocimiento*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 1999).
- , *The Diversity of Life*, Penguin, Harmondsworth, 1992 (hay trad. cast., *La diversidad de la vida*, Crítica, Barcelona, 1994).
- , *The Future of Life*, Alfred Knopf, Nueva York, 2002 (hay trad. cast., *El futuro de la vida*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 2002).
- Wolf, Eric R., *Europe and the People without History*, University of California Press, Berkeley, 1982. [Excelente, aunque a veces difícil historia del mundo moderno escrita por un antropólogo.] (Hay trad. cast., *Europa y la gente sin historia*, FCE, México, 1987).
- , *Peasants*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1966 (hay trad. cast., *Los campesinos*, Labor, Barcelona, 1975³).
- Wolpoff, M. H., Wu Zinzhi, y A. Thorne, «Modern *Homo sapiens* Origins: General Theory of Hominid Evolution Involving the Fossil Evidence from East Asia», en *The Origins of Modern Humans: A World Survey of the Fossil Evidence*, edición de Fred H. Smith y Frank Spencer, Alan Liss, Nueva York, 1984, pp. 411-483. [Una exposición definitiva de su postura respecto a la teoría de una única especie de la evolución homínina].
- Wong, R. Bin, *China Transformed: Historical Change and the Limits of European Experience*, Cornell University Press, Ithaca, N. Y., 1997.
- World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, 1987 (hay trad. cast., Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, *Nuestro futuro común*, Alianza, Madrid, 1992).
- World Development Indicators*, World Bank, Washington, D. C., 2002.
- World Resources, 2000-2001: People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*, World Resources Institute, Washington, D. C., 2000.
- Wright, Robert, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Random House, Nueva York, 2000.
- Wrigley, E. A., *Continuity, Chance, and Change: The Character of the Industrial Revolution in England*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988 (hay trad. cast., *Cambio, continuidad y azar: carácter de la revolución industrial inglesa*, Crítica, Barcelona, 1993).
- , *People, Cities, and Wealth*, Blackwell, Oxford, 1987 (hay trad. cast., *Gentes, ciudades y riqueza: la transformación de la sociedad tradicional*, Crítica, Barcelona, 1992).

- , *Population and History*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1969 (hay trad. cast., *Historia y población: introducción a la demografía histórica*, Crítica, Barcelona, 1985).
- Wrigley, E. A., y R. S. Scholfield, *The Population History of England, 1541-1871: A Reconstruction*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1981.
- Zvelebil, Marek, «Mesolithic Prelude and Neolithic Revolution», en *Hunters in Transition: Mesolithic Societies of Temperate Eurasia and Their Transition to Farming*, edición de Marek Zvelebil, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, pp. 5-15.
- , ed., *Hunters in transition: Mesolithic Societies of Temperate Eurasia and Their Transition to Farming*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986.

Notas introducción

Procedencia de los epígrafes: Fernand Braudel, *On History*, trad. inglesa, University of Chicago Press, Chicago, 1980 (hay trad. cast., *Escritos sobre la historia*, Alianza, Madrid, 1991). Leopold von Ranke, citado en Arthur Marwick, *The Nature of History*, Macmillan, Londres, 1970. Edward Fitzgerald, *The Rubáiyát of Omar Khayyám of Naishápúr*, estrofa 47, tomado de *The Norton Anthology of Poetry*, W. W. Norton, Nueva York, 1970, ed. a cargo de Alexander W. Allison *et al.*, (hay trad. cast., Omar Jayyam, *Robaiyyat*, Hiperión, Madrid, 2005). James Joyce, *Finnegans Wake*, Faber, Londres, 1975 (reimp.) (Versión española resumida por Víctor Pozanco, Lumen, Barcelona, 1993). Mark Twain, «The Damned Human Race», en *Letters from the Earth*, Harper and Row, Nueva York, 1962, ed. de Bernard De Voto, citado en Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987 (hay trad. cast., *Microcosmos: cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos*, Tusquets, Barcelona, 1995).

[1] David Christian, «The case for “Big History”», *Journal of World History* 2, n.º 2 (otoño 1991), pp. 223-238, reimpr. en Ross E. Dunn (ed.), *The New World History: A Teacher’s Companion*, Bedford/St. Martin’s, Boston, 2000, pp. 575-587. Al principio utilicé la expresión «gran historia» (*big history*) casi en broma, aunque después me di cuenta de su posible presuntuosidad. De todos modos, me he acostumbrado a ella y hoy es una etiqueta cómoda para referirse a todo intento de enfocar la historia a la mayor escala posible. <<

[2] Pueden verse dos importantes versiones unificadas del pasado —la primera desde el punto de vista cosmológico, la otra desde una perspectiva geológica— en Eric J. Chaisson, *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 2001, y Preston Cloud, *Cosmos, Earth and Man: A Short History of the Universe*, Yale University Press, New Haven, 1978 (hay trad. cast., *El cosmos, la tierra y el hombre*, Alianza, Madrid, 1988). <<

[3] Murray Gell-Mann, «Transitions to a More Sustainable World», en Yorick Blumenfeld (ed.), *Scanning the Future: Twenty Eminent Thinkers on the World of Tomorrow*, Thames and Hudson, Londres, 1999, pp. 61-62. <<

[4] Fred Spier, *The Structure of Big History: From the big bang until Today*, Amsterdam University Press, Amsterdam, 1996. <<

[5] Edward O. Wilson, *Consilience: The Unity of Knowledge*, Abacus, Londres, 1998 (hay trad. cast., *Consilience: la unidad del conocimiento*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 1999). <<

[6] William H. McNeill, «History and Scientific Worldview», *History and Theory* 37, n.º 1 (1998), pp. 12-13. <<

[7] Erwin Schrödinger, *What is Life?* (1944), reimpr. en *What is Life? The Physical Aspects of the Living Cell*, con *Mind and Matter* y *Autobiographical Sketches*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992, p. 1 (hay trad. cast., *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona, 2001⁵). <<

[8] Spier, *The Structure of Big History*. <<

[9] Según la célebre fórmula de Lyotard, el posmodernismo es sobre todo «escepticismo ante los metarrelatos». (Jean-François Lyotard, *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*, trad. inglesa, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1984, p. XXIV; hay trad. cast., *La condición posmoderna*, Cátedra, Madrid, 2000⁷); Keith Jenkins dice de los grandes relatos que son «filosofías omnímodas de la historia, como la versión ilustrada del progreso de la razón y la libertad o el drama marxista del avance de las fuerzas productivas humanas que a través de los conflictos de clase culmina en la revolución proletaria»: Jenkins (ed.), *The Postmodern History Reader*, Routledge, Londres, 1997, p. 7. <<

[10] George E. Marcus y Michael M. J. Fischer, *Anthropology as Cultural Critique: An Experimental Moment in the Human Sciences*, University of Chicago Press, Chicago, 1986, p. 15 y pássim (hay trad. cast., *La antropología como crítica cultural: un momento experimental en las ciencias humanas*, Amorrortu, Buenos Aires, 2000).

<<

[11] Natalie Zennon Davies, acerca de un simposio sobre «Cultural Encounters between the Continents over the Centuries», en *Nineteenth International Congress of Historical Sciences*, Nasjonalbiblioteket, Oslo, 2000, p. 47. <<

[12] William Cronon, «A Place for Stories: Nature, History and Narrative», *Journal of American History* 78, n.º 4 (marzo 1992), p. 1349. <<

[13] Ernest Gellner, *Plough, Sword, and Book: The Structure of Human History*, Paladin, Londres, 1991, pp. 12-13 (hay trad. cast., *El arado, la espada y el libro; la estructura de la historia humana*, Península, Barcelona, 1994). <<

[¹⁴] Patrick O'Brien, «Is Universal History Possible?», en *Nineteenth International Congress of Historical Sciences*, p. 13. <<

[15] La metáfora del conocimiento como serie de mapas de la realidad se sitúa deliberadamente en el fiel de la balanza entre la teoría instrumentalista del conocimiento y la teoría realista. De la historiografía como cartografía habla con elegancia John Lewis Gaddis en *The Landscape of History: How Historians Map the Past*, Oxford University Press, Oxford, 2002, sobre todo en pp. 31-34 (hay trad. cast., *El paisaje de la historia. Cómo los historiadores representan el pasado*, Anagrama, Barcelona, 2004). Puede verse un repaso difícil pero actualizado del debate entre instrumentalismo y realismo en el seno de la filosofía de la ciencia en Stathis Psillos, *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*, Routledge, Londres, 1999, que rastrea la línea fronteriza de los dos enfoques, aunque al final opta por la posición realista.

<<

Epígrafes: William Shakespeare, *Noche de Epifanía*, 1.2, citado por Gaddis, p. 16 (vid. nota 15 de la introducción), que añade: «Las primeras palabras que Shakespeare pone en boca de Viola, llenas de inteligencia, curiosidad y algo de temor, podrían ser el punto de partida de todo historiador que observa el paisaje de la historia».

[1] Deborah Bird Rose, *Nourishing Terrains: Australian Aboriginal Views of Landscape and Wilderness*, Australian Heritage Comission, Canberra, 1996, p. 23.

<<

[2] *Rig Veda*, ed. inglesa, Penguin, Hammondsorth, 1981, pp. 25-26. <<

[3] *Popol Vuh: The Mayan Book of the Dawn of Life*, trad. inglesa, Simon and Schuster, Nueva York, 1996, p. 64 (texto castellano tomado de la antología de Demetrio Sodi, *La literatura de los mayas*, Joaquín Mortiz, México, 1964). <<

[4] Barbara Sproul, *Primal Myths: Creation Myths Around the World*, 1994, reimpr. HarperSanFrancisco, San Francisco, 1991, p. 15. <<

[5] En *Time: An Essay*, trad. inglesa, Blackwell, Oxford, 1992 (hay trad. cast., *Sobre el tiempo*, FCE, Madrid, 1989), uno de los mejores trabajos modernos sobre el tema, sostiene Norbert Elias que nuestro concepto del tiempo está determinado en buena medida por la necesidad de los individuos de las sociedades complejas de coordinar con precisión sus actividades. <<

[6] Tony Swain describe este sentido de la identidad basado en los lugares de algunos aborígenes australianos: *vid. A Place for Strangers: Towards a History of Australian Aboriginal Being*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, cap. 1. <<

[7] Tomado de Sproul, *Primal Myths*, pp. 137-138. <<

[8] Peter White, «The Settlement of Ancient Australia», en Göran Burenhult (ed.), *The Illustrated History of Humankind*, vol. I: *The First Humans: Human Origins and History to 10 000 B. C.*, University of Queensland Press, St. Lucia (Australia), 1993, p. 148. <<

[9] Stephen Hawking, *The Universe in a Nutshell*, Bantam, Nueva York, 2001, p. 85 (hay trad. cast., *El universo en una cáscara de nuez*, Crítica-Planeta, Barcelona, 2002). <<

[¹⁰] Esta idea del «tiempo del sueño» (*dreamtime*) se introdujo en el idioma inglés por los informes procedentes de una expedición de 1894 a Australia central; es traducción de la palabra arunta *altyerre*, que significa «soñar»; véase Rhys Jones, «Folsom and Talgai: Cowboy Archaeology in Two Continents», en Harold Bolitho y Chris Wallace-Crabbe (eds.), *Approaching Australia: Papers from the Harvard Australian Studies Symposium*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1997, p. 20. <<

[11] Mircea Eliade, *The Myth of Eternal Return, or Cosmos and History*, trad. inglesa, Pantheon, Nueva York, 1954 (hay trad. cast., *El mito del eterno retorno. Arquetipos y repetición*, Alianza, Madrid, 2000). <<

[12] Lee Smolin, *The Life of the Cosmos*, Phoenix, Londres, 1998, sobre todo cap. 7.

<<

[13] Hoy es fácil reírse de estos cálculos, pero, como señala Timothy Ferris, la idea de precisar el momento del origen refleja una mentalidad totalmente moderna, y, de todos modos, el arzobispo Usher, cuyos datos perfeccionó Lightfoot más tarde, se equivocó sólo por una potencia de un millón, lo que no está tan mal en cosmología moderna: *The Whole Shebang: A State-of-the-Universe(s) Report*, Simon and Schuster, Nueva York, 1997, p. 172 (hay trad. cast., *Informe sobre el universo*, Crítica, Barcelona, 1998). <<

[¹⁴] Puede verse un resumen actualizado en Charles Lineweaver, «Our Place in the Universe», en Malcolm Walter (ed.), *To Mars and Beyond: Search for the Origins of Life*, National Museum of Australia, Canberra, 2002, pp. 88-99. <<

[15] Según los datos de la sonda Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) publicados por la NASA en febrero de 2003, el cálculo más exacto del tiempo transcurrido desde el *big bang* da 13 700 millones de años. *Vid.* «Imagine the Universe News», 12 de febrero de 2003, <http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/features/news/12feb03.html> (página consultada en abril de 2003). <<

[¹⁶] Martin Rees, *Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*, Basic Books, Nueva York, 2000, p. 133 (hay trad. cast., *Seis números nada más*, Debate, Barcelona, 2001), señala lo siguiente: «El salto atrás de 10^{-14} segundos a 10^{-35} segundos es [...] mayor (porque comprende más potencias de diez) que el tiempo transcurrido entre el umbral de tres minutos en que se formó el helio [...] y el presente (10^{37} segundos, es decir, diez mil millones de años)». <<

[¹⁷] Richard P. Feynman, *Six Easy Pieces: the Fundamentals of Physics Explained*, Penguin, Londres, 1998, p. 5 (hay trad. cast., *Seis piezas fáciles: la física explicada por un genio*, Crítica, Barcelona, 2002). <<

[18] Eric Chaisson, *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 2001, p. 126, sostiene que la expansión fue fundamental para la aparición de entidades complejas. <<

[19] Ferris, *The Whole Shebang*, p. 78. Puede verse una explicación muy pedagógica de la idea de inflación en Paul Davis, *The Last Three Minutes*, Phoenix, Londres, 1995, pp. 28-35 (hay trad. cast., *Los últimos tres minutos*, Debate, Madrid, 2001). Para remediar las posibles dificultades con la notación exponencial, véase la «Nota sobre la notación exponencial», al final de este capítulo. <<

[20] Rees, *Just Six Numbers*, pp. 93-97. <<

[21] Chaisson, *Cosmic Evolution*, p. 112. <<

[22] Los datos de la WMAP de la NASA dan a entender que esta transición, que liberó la radiación cósmica de fondo, se produjo unos 380 000 años después del *big bang*.
Vid. «Imagine the Universe News», 12 de febrero de 2003. <<

[23] Chaisson, *Cosmic Evolution*, p. 113. <<

[24] Feynman, *Six Easy Pieces*, p. 34; Ferris dice que si el núcleo fuera una pelota de golf, sus electrones más lejanos estarían a unos tres kilómetros (*The Whole Shebang*, p. 108). <<

[25] Chaisson, *Cosmic Evolution*, p. 2 <<

[26] Aquí pisamos un terreno simbólico muy complejo. Como dice Thich Nhat Hanh, maestro zen vietnamita, «La forma es la ola y el vacío el agua»; cf. *The Heart of Understanding: Commentaries on the Prajñaparamita Heart Sutra*, ed. de Peter Levitt, Parallax, Berkeley, 1988, p. 15; el Sutra del Corazón se cita en la p. 1. <<

[27] Wendy L. Freedman, «The Expansion Rate and Size of the Universe», *Scientific American*, primavera de 1998, pp. 92-97; Ken Croswell, «Uneasy Truce», *New Scientist*, 30 de mayo de 1998, pp. 42-46. Véase la nota 15 para estimaciones más recientes. <<

[28] Max Tegmark, citado en James Glanz, «In the *big bang*'s Echoes: Clues to the Cosmos», *New York Times*, 6 de febrero de 2001. <<

[29] Sobre la WMAP de la NASA, véase el sitio de Internet «Wilkinson Microwave Anisotropy Probe», 14 de marzo de 2003, <http://map.gsfc.nasa.gov> (visitado en abril de 2003); para los últimos resultados de la sonda, hechos públicos en febrero de 2003, véase la nota 15. <<

[³⁰] Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987, p. 41. <<

[31] Peter Coles, *Cosmology: A very Short Introduction*, Oxford University Press, Oxford, 2001, pp. 91-92; Hawking, *Universe in a Nutshell*, pp. 96-99, detalla la teoría de la «energía de vacío». <<

[32] Mi exposición de la notación exponencial se basa en la inteligentísima descripción de Cesare Emiliani, *The Scientific Companion: Exploring the Physical World with Facts, Figures, and Formulas*, John Wiley, Nueva York, 1995², pp. 5-10.
=>

Epígrafe: Martin Rees, *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 2000, p. 126.

[1] Timothy Ferris, *The Whole Shebang: A State-of-the-Universe(s) Report*, Simon and Schuster, Nueva York, 1997, pp. 51-52. <<

[2] Una exposición competente y actualizada del problema de la materia oscura puede verse en el cap. 5 de Ferris, *The Whole Shebang*, «The Black Taj»; véase también Rees, *Just Six Numbers*, cap. 6. Los cálculos más recientes dan a entender que la radiación podría equivaler sólo al 0,005 por ciento de la masa del universo; las partículas como los neutrinos podrían componer el 0,3 por ciento; la materia común —los objetos formados por partículas como los protones y los electrones— podrían componer el 5 por ciento; la «materia oscura y fría», compuesta por partículas previstas por la teoría pero no detectadas aún, podría sumar el 25 por ciento; en el restante 70 por ciento podría estar la «energía oscura». Véase David B. Cline, «The search for Dark Matter», *Scientific American*, marzo de 2003, pp. 50-59, sobre todo la tabla de la p. 53. <<

[3] Según datos de la WMAP, hechos públicos por la NASA en febrero de 2003, es posible que las primeras estrellas apareciesen 200 millones de años después del *big bang*. *Vid.* «Imagine the Universe News», 12 de febrero de 2003, <http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/features/news/12feb03.html> (sitio consultado en abril de 2003). <<

[4] Rees, *Just Six Numbers*, p. 53; el único medio de transformar en energía el 100 por ciento de la masa es unir materia y antimateria. <<

[5] Ferris, *The Whole Shebang*, pp. 79-80. <<

[6] Lee Smolin, *The Life of the Cosmos*, Phoenix, Londres, 1998, sobre todo cap. 7 («Did the Universe Evolve?»). Las teorías del «darwinismo universal» afirman que cualquier sistema que contenga duplicadores (en este caso, universos y agujeros negros) podría crear entidades complejas por medio de procesos algorítmicos irracionales equivalentes a la selección natural; véase, por ejemplo, Henry Plotkin, *Evolution in Mind: An Introduction to Evolutionary Psychology*, Penguin, Londres, 1997, pp. 251-252. <<

[7] Charles Lineweaver, «Our Place in the Universe», en Malcolm Walter (ed.), *To Mars and Beyond: Search for the Origins of Life*, National Museum of Australia, Canberra, 2002, p. 95. *Vid.* también la nota 2. <<

[8] John Wilford Noble, «Cosmic Players that Could've Been Stars», *New York Times*, 8 de junio de 2001. <<

[9] Véase Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: From the big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, p. 61, donde se resume gráficamente el distinto comportamiento de estrellas que tienen diferente masa; Paul Davies, *The Last Three Minutes*, Phoenix, Londres, 1995, pp. 41-45, describe bien los detalles de la explosión llamada supernova. <<

[¹⁰] Véase Delsemme, *Our Cosmic Origins*, pp. 74-75. <<

[11] Ken Croswell, *The Alchemy of the Heavens*, Oxford University Press, Oxford, 1996, pp. 47-48. <<

[12] E. O. Wilson, *Consilience*, Abacus, Londres, 1999, p. 49. <<

[13] La primera vez que oí hablar de estos experimentos mentales fue a principios de los años noventa, en una serie de charlas del difunto David Allen, un astrónomo inglés que vivía y trabajaba en Sidney. <<

[¹⁴] Cesare Emiliani, *The Scientific Companion: Exploring the Physical World with Facts, Figures, and Formulas*, John Wiley, Nueva York, 1995², p. 9. <<

[15] Croswell, *Alchemy of the Heavens*, p. 182. <<

[1] Ross Taylor, «The Solar System: An Environment for Life?», en Malcolm Walter (ed.), *To Mars and Beyond: Search for the Origins of Life*, National Museum of Australia, Canberra, 2002, pp. 59-60. <<

[2] Nigel Hawkes, «First Sight of a Planet Outside our Solar System», *Times* (Londres), 29 de mayo de 1998, p. 5. <<

[3] Ian Crawford, «Where are They?», *Scientific American*, julio de 2000, pp. 38-43, hace un repaso valorativo de las últimas estimaciones sobre la probabilidad de conocer otras formas de vida en el futuro próximo. <<

[4] Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: From the big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, pp. 116-121, sostiene que los cometas desempeñaron este importante papel. <<

[5] Para las técnicas de datación, *vid.* el apéndice 1; *vid.* también Delsemme, *Our Cosmic Origins*, p. 285; Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998², cap. 2; y Nigel Calder, *Timescale: An Atlas of the Fourth Dimension*, Chatto and Windus, Londres, 1983. <<

[6] Hay una buena cronología de la Tierra en Lynn Margulis y Dorion Sagan, *What is Life*, University of California Press, Berkeley, 1995, pp. 64-80 (hay trad. cast., *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona, 1996). <<

[7] Ian W. D. Dalziel, «Earth before Pangea», *Scientific American*, enero de 1995, pp. 38-43. <<

[1] Erwin Schrödinger, *What is Life?*, en *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992, p. 77. <<

[2] Eric Chaisson llama m a esta cantidad, la «densidad del ritmo de la energía libre», que Chaisson mide en «unidades de energía por tiempo por masa»; añade que la idea «la conocen los astrónomos como la proporción luminosidad/masa, los físicos como la densidad de la energía, y los geólogos como el flujo específico de radiación, los biólogos como el ritmo metabólico específico, y los ingenieros como la proporción fuerza/masa». (*Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts), 2001, p. 134. <<

[3] Schrödinger, *What is Life?*, p. 73. <<

[4] Martin Rees, «Exploring our Universe and Others», *Scientific American*, diciembre de 1999, p. 46. <<

[5] Otro naturalista, Alfred Russell Wallace, tuvo la misma idea al mismo tiempo y tanto él como Darwin presentaron la teoría en dos artículos que se publicaron en 1858 en el *Journal of the Linnaean Society*. <<

[6] Charles Darwin, *The Origin of Species by Means of Natural Selection: The Preservation of Favored Races in the Struggle for Life* (1859), Penguin, Harmondsworth, 1968, p. 82 (traducción castellana tomada de *El origen de las especies*, Espasa-Calpe, Madrid, 1988, pp. 71-72). <<

[7] Darwin, *Origin of Species*, p. 90. <<

[8] Que los procesos algorítmicos irracionales podrían generar abundantísima complejidad es la intuición fundamental que David Dennett llama «peligrosa idea de Darwin» y describe en su ya clásico *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meaning of Life*, Allen Lane, Londres, 1995 (hay trad. cast., *La peligrosa idea de Darwin*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 1999). <<

[9] Darwin, *The Origin of Species*, pp. 441-442, 115; citado en Tim Megarry, *Society in Prehistory: The Origins of Human Culture*, Macmillan, Basingstoke, 1995, pp. 33-34. <<

[10] Hubert Reeves, Joël de Rosnay, Yves Coppens y Dominique Simonnet, *Origins: Cosmos, Earth, and Mankind*, trad. inglesa, Arcade Publishing, Nueva York, 1998, p. 138 (entrevista con Coppens) (hay trad. cast., *La historia más bella del mundo. Los secretos de nuestros orígenes*, Anagrama, Barcelona, 1997, p. 115). <<

[11] Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: From the big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, p. 135. Stuart Kauffman analiza la curiosa posibilidad de que el delicado equilibrio entre orden y caos pueda ser fruto de procesos evolutivos; véase *At Home in the Universe: the Search for Laws of Complexity*, Viking, Londres, 1995, p. 90. <<

[12] El material de esta sección se ha basado en las clases que dio David Briscoe en la Universidad Macquarie (de Sidney, Australia) desde 1989; véase también Lynn Margulis y Dorion Sagan, *What is Life?*, University of California Press, Berkeley, 1995, pp. 64-69. <<

[13] Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987, p. 48. <<

[¹⁴] Los aminoácidos son moléculas orgánicas simples que contienen un grupo amino (-NH₂) y un grupo carboxilo (-COOH), además de un grupo variable de átomos, unidos a un átomo de carbono; los nucleótidos también son simples y constan de una molécula de azúcar, ácido fosfórico y una base nitrogenada (entre cuatro bases posibles). Unidos entre sí en largas cadenas, los nucleótidos forman los dos grandes grupos de *ácidos nucleicos*, el ADN y el ARN, llamados así porque fueron los primeros en aislarse en el núcleo de la célula; el ADN y el ARN son las claves de la herencia de todos los organismos vivos. <<

[15] Un investigador de los orígenes de la vida, Malcolm Walter, analiza muy bien estos temas en *The Search for Life on Mars*, Allen and Unwin, Sidney, 1999. <<

[16] Darwin, citado en Paul Davis, *The Fifth Miracle: The Search for the Origin of Life*, Penguin, Harmondsworth, 1999, p. 54 (hay trad. cast., *El quinto milagro: la búsqueda del origen y significado de la vida*, Crítica, Barcelona, 2000). <<

[¹⁷] A. G. Cairns-Smith, *Seven Clues to the Origins of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985 (hay trad. cast., *Siete pistas sobre el origen de la vida*, Alianza, Madrid, 1990). <<

[18] Reeves, De Rosnay, Coppens y Simonnet, *Origins*, p. 92 (entrevista con de Rosnay). <<

[19] Para ver un repaso detallado de estos descubrimientos sobre las arqueobacterias y sus consecuencias, cf. Davis, *The Fifth Miracle*, especialmente cap. 7. <<

[20] Karen L. Von Damm, «Lost City Found», *Nature*, 12 de julio de 2001, pp. 127-128. <<

[21] Birger Rasmussen, «Filamentous Microfossils in a 3,235-Million Year-Old Volcanogenic Massive Sulphide Deposit», *Nature*, 8 de junio de 2000, pp. 676-679, describe el hallazgo del fósil de «extremófila» más antiguo que se conoce, con 3200 millones de años, en la región australiana de Pilbara. Es probable que estas bacterias «comieran» elementos químicos y vivieran cerca de las azufradas chimeneas volcánicas de las profundidades marinas; los restos de arqueobacterias más antiguos que se conocían hasta entonces tenían sólo 500 millones de años. <<

[22] Hay una buena exposición sobre este asunto de la primacía en Freeman Dyson, *Origins of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999² (hay trad. cast., *Los orígenes de la vida*, Cambridge University Press, Madrid, 1999). <<

[23] Cesare Emiliani, *The Scientific Companion: Exploring the Physical World with Facts, Figures, and Formulas*, John Wiley, Nueva York, 1995², p. 151. Cuentan que Fred Hoyle comparó las probabilidades de los procesos aleatorios de construir incluso la bacteria más simple con las probabilidades de un remolino de aire de construir «un Boeing 747 con el material de un depósito de chatarra» (citado en Delsemme, *Our Cosmic Origins*, p. 151). <<

[24] Véase una descripción de estos hipotéticos mecanismos ocultos en Kauffman, *At Home in the Universe*, y Paul Davis, *The Cosmic Blueprint*, Unwin, Londres, 1989 (hay trad. cast., *Proyecto cósmico*, Pirámide, Madrid, 1989). <<

[25] John Maynard Smith y Eörs Szathmáry, *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origins of Language*, Oxford University Press, Oxford, 1999, describen el «mundo del ADN» en los caps. 3 y 4. <<

[26] Dyson, *Origins of Life*, p. 40. <<

[27] Dyson, *Origins of Life*, cap. 3. <<

[1] Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987. <<

[2] Stephen Jay Gould, *Life's Grandeur: The Spread of Excellence from Plato to Darwin*, Jonathan Cape, Londres, 1996 (hay trad. cast., *La grandeza de la vida, de Platón a Darwin*, Crítica, Barcelona, 1997); véase el cap. 14 para los argumentos en favor del predominio de las bacterias, entre ellos la posibilidad de que las bacterias representen más de la mitad de la masa total de los organismos vivos del planeta; véase también Margulis y Sagan, *Microcosmos*. <<

[3] John Maynard Smith y Eörs Szathmáry, *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origins of Language*, Oxford University Press, Oxford, 1999, p. 15. Para conocer otro enfoque que entiende la evolución como parte de un proceso de complejidad creciente, véase Hubert Reeves, Joël de Rosnay, Yves Coppens y Dominique Simonnet, *Origins: Cosmos, Earth, and Mankind*, Arcade Publishing, Nueva York, 1998. <<

[4] Este enfoque de la creciente complejidad de la vida se explica de un modo soberbio en Maynard Smith y Szathmáry, *The Origins of Life*; para hacerse una idea de lo que opinan los biólogos sobre la complejidad, véase Roger Lewin, *Complexity: Life on the Edge of Chaos*, Phoenix, Londres, 1993, cap. 7 (hay trad. cast., *Complejidad, el caos como generador de orden*, Tusquets, Barcelona, 2002). <<

[5] Maynard Smith y Szathmáry, *The Origins of Life*, p. 62. <<

[6] Para conocer una descripción más detallada de estos hallazgos de bacterias, véase Malcolm Walter, *The Search for Life on Mars*, Allen and Unwin, Sidney, 1999, cap. 3; Walter es uno de los investigadores que más ha trabajado con ellas. Cabe la posibilidad de que los indicios no sean verdaderos; en tal caso, los indicios seguros de vida más antiguos que se conocen tienen menos de 2000 millones de años. <<

[7] Paul Davis, *The Fifth Miracle: The Search for the Origin of Life*, Penguin, Harmondsworth, 1999, sobre todo el cap. 10. <<

[8] La descripción que sigue se basa en John Snyder y C. Leland Rodgers, *Biology*, Barron's, Nueva York, 1995, caps. 5 y 6. <<

[9] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 97. <<

[¹⁰] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 88. <<

[11] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 93. <<

[12] Las cifras del oxígeno figuran en Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: From the big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, p. 168; y véase la gráfica de la p. 170. <<

[13] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, cap. 6. <<

[14] J. E. Lovelock, *Gaia: A New Look at Life on Earth* (1979), Oxford University Press, Oxford, 1987 (reimp.), p. 69 (hay trad. cast., *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la tierra*, Hermann Blume, Madrid, 1983). <<

[15] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 93. <<

[16] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 114. <<

[¹⁷] Lynn Margulis y Dorion Sagan, *What is Life?*, University of California Press, Berkeley, p. 73. <<

[¹⁸] Vid. Maynard Smith y Szathmáry, *The Origins of Life*, cap. 6. <<

[19] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 115. <<

[²⁰] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 119; y véanse las pp. 123-125 para el delicado equilibrio entre la cooperación y la competencia en la evolución. <<

[21] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 142. <<

[22] Maynard Smith y Szathmáry, *The Origins of Life*, cap. 7. <<

[23] Richard A. Fortey, *Life: An Unauthorized Biography: A Natural History of the First Four Thousand Million Years of Life on Earth*, Flamingo, Londres, 1998, p. 89 (hay trad. cast., *La vida: una biografía no autorizada*, Taurus, Madrid, 1999). <<

[24] Reeves, De Rosnay, Coppens y Simonnet, *Origins*, p. 110 (entrevista con de Rosnay). <<

[25] Maynard Smith y Szathmáry, *The Origins of Life*, pp. 125-129. <<

[26] Maynard Smith y Szathmáry, *The Origins of Life*, p. 28. <<

[27] Estos ejemplos proceden de Stuart Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity*, Viking, Londres, 1995, p. 109, pero reduciendo la cantidad de genes de los humanos. <<

[28] Ernst Mayr, *The Growth of Biological Thought*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1982, p. 273 (hay trad. cast., *Una larga controversia: Darwin y el darwinismo*, Crítica, Barcelona, 1992); citado en Tim Megarry, *Society in Prehistory: The Origins of Human Culture*, Macmillan, Basingstoke, 1995, p. 19. <<

[29] Esta taxonomía se basa en la clasificación actual tal como aparece en Roger Lewin, *Human Evolution: An Illustrated Introduction*, Blackwell, Oxford, 1999⁴, p. 43 (hay trad. cast., *Evolución humana*, Salvat, Barcelona, 1994). <<

[³⁰] Stephen Jay Gould, *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, Hutchinson, Londres, 1989 (hay trad. cast., *La vida maravillosa: Burgess Shale y la naturaleza de la historia*, Crítica, Barcelona, 1999). <<

[31] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 187. <<

[32] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, pp. 174-175. <<

[33] Nicholas Humphrey, *A History of the Mind*, Chatto and Windus, Londres, 1992, p. 97 (hay trad. cast., *Una historia de la mente*, Gedisa, Barcelona, 1995); Humphrey añade (p. 195) que, en este sentido simple, la conciencia pudo haber aparecido primero en el cerebro de los mamíferos y las aves, que es más complejo, pero parece que es posible apreciarla en organismos mucho más simples. <<

[³⁴] Terrence W. Deacon, *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*, Penguin, Harmondsworth, 1997, p. 455. <<

[35] Deacon, *The Symbolic Species*, p. 450. <<

[36] Véase Luann Becker, «Repeated Blows», *Scientific American*, marzo de 2002, pp. 76-83; el posible punto de impacto del asteroide se ha localizado últimamente en Bedout, en el mar, frente a las costas de Australia noroccidental. <<

[37] Los dinosaurios han entrado en la imaginación humana con fuerza arrolladora. Por poner un ejemplo llamativo, parece que ciertas antiguas leyendas centroasiáticas que hablaban de dragones o «grifos» gigantescos que protegían tesoros escondidos se basaban en los restos de dinosaurios como los protoceratopsios cuyos fósiles se han encontrado en abundancia en las montañas de Tien Shan, en China, cerca de yacimientos de oro. Véase Jannine Davis-Kimball y Mona Behan, *Warrior Women: An Archaeologist's Search for History's Hidden Heroines*, Warner, Nueva York, 2002, cap. 6. <<

[38] Hay una descripción muy gráfica del impacto del asteroide en Tim Flannery, *The Eternal Frontier: An Ecological History of North America and its Peoples*, Atlantic Monthly Press, Nueva York, 2001, cap. 1. <<

[39] Sobre el polémico asunto de si la evolución es proclive a la complejidad, véase el excelente y breve resumen que hace Davis, *The Fifth Miracle*, pp. 219-225. <<

[⁴⁰] Alvares, citado en Jeanne M. Sept y George E. Brooks, «Reports of Chimpanzee Natural History, Including Tool Use, in Sixteenth-and Seventeenth-Century Sierra Leone», *International Journal of Primatology* 15, n.^o 6 (diciembre de 1994), p. 872 (la observación entre corchetes es del original); doy las gracias a George Brooks por haberme facilitado una separata del artículo. <<

[41] James Lovelock, *The Ages of Gaia: A Biography of Our Living Earth*, Oxford University Press, Oxford, 1988, p. 19 (hay trad. cast., *Las edades de Gaia: una biografía de nuestro planeta vivo*, Tusquets, Barcelona, 1993). <<

[42] El término *biosfera* fue inventado, por semejanza con términos como *litosfera* o *atmósfera* (las regiones de las piedras y el aire, respectivamente), por un geólogo austriaco, Edward Suess (1831-1914), y popularizado por el ruso Vladimir Vernadsky (1863-1945), que le dio la acepción de «esfera de toda la materia viva». (Margulis y Sagan, *What is Life?*, pp. 48 ss.). <<

[43] Lynn Hunt, «Send in the Clouds», *New Scientist*, 30 de mayo de 1998, pp. 28-33; para conocer más detalles de la «hipótesis Gaia» véanse los títulos de James Lovelock. <<

[44] Margulis y Sagan, *Microcosmos*, p. 91. <<

[45] Lewin, *Human Evolution*, p. 27. Tampoco es descartable la posibilidad de que estas grandes extinciones, como la de finales del Cretácico, se debieran a sendos impactos de asteroides. <<

[46] Lewin, *Human Evolution*, pp. 22-24. <<

[47] Lewin, *Human Evolution*, p. 22. <<

[48] Tim Flannery, *The Future Eaters: An Ecological History of Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood (Nueva Gales del Sur), 1995, pássim, describe muy bien el funcionamiento de estas pautas en Australasia; en la p. 344 puede verse un resumen. <<

[49] «La ley del mínimo [...] dice que el crecimiento de la población está limitado por aquellos recursos fundamentales (por ejemplo el agua) que más escasean» (Allen W. Johnson y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies*, Stanford University Press, Stanford, 2000², pp. 14-15; hay trad. cast., *La evolución de las sociedades*, Ariel, Barcelona, 2003). <<

[1] Véase, por ejemplo, John Maynard Smith y Eörs Szathmáry, *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origins of Language*, Oxford University Press, Oxford, 1999. <<

[2] El mejor resumen histórico del uso humano de la energía es Vaclav Smil, *Energy in World History*, Westview Press, Boulder (Colorado), 1994. <<

[3] Paul Ehrlich, *The Machinery of Nature*, Simon and Schuster, Nueva York, 1986, p. 287; las cifras de la PPN terrestre de la que se apropián los humanos proceden de I. G. Simmons, *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*, Blackwell, Oxford, 1996², p. 361, que a su vez se basa en J. M. Diamond, «Human Use of World Resources», *Nature*, 6 de agosto de 1987, pp. 479-480. <<

[4] *World Resources, 2000-2002: People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*, World Resources Institute, Washington D. C., 2000, pp. 246 y 248. <<

[5] Véase, por ejemplo, Richard Leakey y Roger Lewin, *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind*, Doubleday, Nueva York, 1995 (hay trad. cast., *La sexta extinción: el futuro de la vida y la humanidad*, Tusquets, Barcelona, 1998²). <<

[6] A. J. McMichael, *Planetary Overload: Global Environmental Change and the Health of the Human Species*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, p. 33.

<<

[7] Maynard Smith y Szathmáry describen del siguiente modo las nuevas formas de complejidad en el reino de la biología: «Entidades capaces de reproducirse independientemente, antes de que la transición las reprodujera sólo como parte de un conjunto mayor». (*The Origins of Life*, p. 19). <<

[8] Craig Stanford, *The Hunting Apes: Meat Eating and the Origins of Human Behavior*, Princeton University Press, Princeton, 1999, pp. 28-29. <<

[9] John A. Mears, «Agricultural Origins in Global Perspective», en Michael Adas (ed.), *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, Temple University Press, Filadelfia, 2001, p. 65. Para un enfoque general de la importancia de los juegos de suma no nula (esto es, juegos en los que compartir es más provechoso que competir) en la historia humana, véase Robert Wright, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Randon House, Nueva York, 2000. <<

[¹⁰] McMichael, *Planetary Overload*, p. 34. <<

[11] Derek Bickerton, *Language and Species*, University of Chicago Press, Chicago, p. 157, citado en William H. Calvin, *How Brains Think: Evolving Intelligence, Then and Now*, Phoenix, Londres, 1998, p. 82 (hay trad. cast., *Cómo piensan los cerebros: la evolución de la inteligencia antes y ahora*, Debate, Madrid, 2001). <<

[12] Terrence W. Deacon, *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*, Penguin, Harmondsworth, 1997, p. 397. <<

[13] Chris Stringer y Robin McKie, *African Exodus*, Cape, Londres, 1996, p. 150. <<

[¹⁴] El importante artículo de Vincent Sarich y Alan Wilson fue titulado con el estilo prosaico que es frecuente en esta literatura: «Immunological time scale for hominid evolution»; apareció en *Science*, 1 de diciembre de 1967, pp. 1200-1203. <<

[15] Para las limitaciones de la «sistematica molecular» véase Roger Lewin, *Human Evolution: An Illustrated Introduction*, Blackwell, Oxford, 1999⁴, pp. 41-45. <<

[16] Los recientes hallazgos de restos de homíninos primitivos sugieren que los paleontólogos podrían hablar en el futuro del antepasado común con más fundamento. Mientras tanto hay, como suele suceder, multitud de especulaciones; véase Lewin, *Human Evolution*, pp. 84-85. <<

[¹⁷] Para el entorno y la evolución humana véase el resumen de Calvin, *How Brains Think*, pp. 69-81, y William H. Calvin, *The Ascent of Mind: Ice age Climates and the Evolution of Intelligence*, Bantam, Nueva York, 1991. <<

[18] Dos libros recientes de Craig Stanford, *The Hunting Apes* y *Significant Others: The Ape-human Continuum and the Quest for Human Nature*, Basic Books, Nueva York, 2001, resumen de un modo fascinante aunque polémico las últimas investigaciones en este campo. <<

[19] En realidad prefiero el término *forrajeros* a la expresión consagrada *cazadores-recolectores*, porque cada vez se hace más patente que en estas sociedades la recolección de productos vegetales suele tener más peso, por lo menos desde el punto de vista de la dieta, que la búsqueda de carne. El término lo propuso Richard Lee en su influyente trabajo sobre los !kung san, *The !Kung San: Men, Women, and Work in a Foraging Society*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979; para ver una introducción a las tecnologías «forrajeras», cf. Allen W. Johnson y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies*, Stanford University Press, Stanford, 2000, cap. 3.

<<

[20] Véase Robert Foley, «In the Shadow of the Modern Synthesis? Alternative Perspectives on the Last Fifty Years of Paleoanthropology», *Evolutionary Anthropology* 10, n.^o 1 (2001), pp. 5-15, donde hay un resumen de la historia homínina que subraya estas radiaciones adaptativas. <<

[21] Véase Lewin, *Human Evolution*, cap. 10. <<

[22] Lewin, *Human Evolution*, p. 55. <<

[23] Ann Gibbons, «In Search of the First Hominids», *Science*, 15 de febrero de 2002, pp. 1214-1219; el nombre que el equipo le puso a la especie fue menos llamativo: *Orrorin tugenensis*. <<

[24] Yohannes Halle-Selassie, «Late Miocene Hominids from the Middle Awash, Ethiopia», *Nature*, 12 de julio 2001, pp. 178-181. <<

[25] Cabe la posibilidad de que los homíninos no fueran los únicos bípedos; hace poco se ha descubierto en una isla del Mediterráneo un fósil de 9 millones de años, perteneciente a una criatura simiesca que al parecer era bípeda (Stanford, *The Hunting Apes*, p. 220). <<

[26] Véase Lewin, «Origin of Bipedalism», cap. 17 de *Human Evolution*. <<

[27] Hubert Reeves, Joël de Rosnay, Yves Coppens y Dominique Simonnet, *Origins: Cosmos, Earth, and Mankind*, Arcade Publishing, Nueva York, 1998, pp. 152-156 (entrevista con Coppens); Lewin, *Human Evolution*, pp. 108-109. <<

[28] Reeves, De Rosnay, Coppens y Simonnet, *Origins*, p. 156 (entrevista con Coppens). <<

[29] En este y los dos capítulos que siguen, las fechas que daré serán «antes del presente», como quieren los arqueólogos. Para ser exactos, el presente que se toma como referencia en la datación radiométrica es el año 1950, pero puede pasarse por alto la diferencia a casi todos los efectos. <<

[30] Para conocer la fascinante aunque polémica historia de la evolución de los primeros homíninos que cuenta el descubridor de Lucy véase Donald Johanson y James Shreeve, *Lucy's Child: The Discovery of a Human Ancestor*, Penguin, Harmondsworth, 1989. <<

[31] Véase Stanford, *The Hunting Apes*. <<

[32] Acerca de la trascendencia del dimorfismo sexual y sus testimonios entre los homíninos véase Walter Leutenegger, «Sexual Dimorphism: Comparative and Evolutionary Perspectives», en Göran Burenhult (ed.), *The Illustrated History of Humankind*, vol. I, *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 B. C.*, HarperSanFrancisco, San Francisco, 1993, p. 41. <<

[33] Ian Tattersall, *Becoming Human: Evolution and Human Uniqueness*, Harcourt Brace, Nueva York, 1998, pp. 133-134 (hay trad. cast., *Hacia el ser humano: la singularidad del hombre y la evolución*, Península, Barcelona, 1998). <<

[34] Recientemente se ha sostenido que hubo dos especies de *habilis*: el *Homo rudolfensis*, de cerebro mayor y de complejión por lo general más fornida, y el *H. habilis*, que era más pequeño, pero con una mandíbula y una dentadura más modernas (Lewin, *Human Evolution*, p. 124). <<

[35] Craig Stanford propone en *The Hunting Apes* una versión modificada de la hipótesis del «hombre cazador», basándose en la importancia alimenticia y social de la carne en las sociedades primates. <<

[36] Para la caza practicada por los chimpancés, véase Stanford, *The Hunting Apes*. <<

[37] Es ya una costumbre llamar *ergaster* a los ejemplares africanos de estas especies y *erectus* a las especies no africanas; yo hablaré de *erectus* sólo cuando tratemos concretamente de especies que vivieron fuera de África. <<

[38] Puede verse una excelente y breve historia del *Homo ergaster* en Paul Ehrlich, *Human Natures: Genes, Cultures, and the Human Prospect*, Island Press, Washington DC, 2000, pp. 92-96. <<

[39] Johan Goudsblom sostiene que el uso del fuego representa un momento de transición fundamental en la historia humana: *vid. Fire and Civilization*, Allen Lane, Harmondsworth, 1992. <<

[⁴⁰] Deacon, *The Symbolic Species*, p. 358. <<

[41] Steven Mithen, *The Prehistory of the Mind: A Search for the Origins of Art, Religion, and Science*, Thames and Hudson, Londres, 1996, pp. 179 ss. (hay trad. cast., *Arqueología de la mente: orígenes del arte de la religión y de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 1998). <<

[42] David Christian, *A History of Russia, Central Asia, and Mongolia*, vol. I, *Inner Eurasia from Prehistory to the Mongol Empire*, Blackwell, Oxford, 1998, cap. 2, subraya el significado de la ausencia del *erectus* en Eurasia septentrional. <<

[43] Edward O. Wilson, *Consilience: The Unity of Knowledge*, Abacus, Londres, 1998, p. 107; en el cap. 6 hay una breve pero soberbia introducción al estado actual de nuestros conocimientos sobre el cerebro humano. Los demás puntos de inflexión enumerados por Wilson son la aparición de la vida, la aparición de las células eucariotas y la aparición de los organismos policelulares. <<

[44] Roger Lewin, *Complexity: Life on the Edge of Chaos*, Phoenix, Londres, 1993, p. 163. <<

[45] Quien postula el funcionamiento de este bucle de retroacción es Nicholas Humphrey, según el resumen de Calvin, *How Brains Think*, pp. 66-68. <<

[46] Véase Jared Diamond, *Why is Sex Fun? The Evolution of Human Sexuality*, Widenfeld and Nicolson, Londres, 1997 (hay trad. cast., *¿Por qué es divertido el sexo?*, Debate, Barcelona, 1999), y Donna J. Haraway, *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*, Routledge, Nueva York, 1991, p. 107, que tratan de explicar el significado de la falta de un ciclo de celo definido en los humanos modernos. <<

[47] Robert Foley, *Humans Before Humanity*, Blackwell, Oxford, 1995, pp. 165-171 (hay trad. cast., *Humanos antes de la humanidad*, Ediciones Bellaterra, Barcelona, 1997). <<

[48] Ehrlich, *Human Natures*, p. 96. <<

[1] Henry Plotkin, *Evolution in Mind: An Introduction to Evolutionary Psychology*, Penguin, Londres, 1997, p. 248. <<

[2] Un buen repaso de las teorías sobre la adquisición del lenguaje es Steven Mithen, *The Prehistory of Mind*, Thames and Hudson, Londres, 1996, cuyas tesis pueden verse resumidas en John Maynard Smith y Eörs Szathmáry, *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origins of Language*, Oxford University Press, Oxford, 1999, pp. 143-145. Sobre los módulos del lenguaje, véase Steven Pinker, *The Language Instinct: The New Sciences of Language and Mind*, Penguin, Nueva York, 1994 (hay trad. cast., *El instinto del lenguaje: cómo crea el lenguaje la mente*, Alianza, Madrid, 1999). <<

[3] Mithen, *The Prehistory of Mind*. <<

[4] Véase Terrence W. Deacon, *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Brain*, Penguin, Harmondsworth, 1997, especialmente el cap. 10; Steven Pinker ha dicho que si en realidad hay módulos u «órganos» cerebrales, probablemente serán más como animales muertos en la carretera que como los órganos que todos conocemos, el corazón o los pulmones (*How the Mind Works*, W. W. Norton, Nueva York, 1997, p. 30; hay trad. cast., *Cómo funciona la mente*, Destino, Barcelona, 2004). <<

[5] «Los iconos funcionan en virtud de una semejanza entre signo y objeto, los índices funcionan en virtud de una conexión física o temporal entre el signo y el objeto, y los símbolos operan en virtud de un vínculo formal o simplemente convenido, independientemente de las características físicas del signo y del objeto» (Deacon, *The Symbolic Species*, p. 70). Las referencias de las citas de este libro que se reproducen a continuación se dan entre paréntesis. <<

[6] Deacon, *The Symbolic Species*, pp. 322-324 y 345. <<

[7] Deacon, *The Symbolic Species*, pp. 84-92. <<

[8] Para la influencia del lenguaje en el sentido del tiempo, véase John McCrone, *The Ape that Spoke*, Macmillan, Basingstoke, 1990, y *How the Brain Works: A Beginner's Guide to the Mind and Consciousness*, Dorling Kindersley, Londres, 2002, en particular pp. 56-58. <<

[9] Deacon, *The Symbolic Species*, pp. 310-318. <<

[¹⁰] Deacon, *The Symbolic Species*, pp. 340 y 353. <<

[11] Puede verse un resumen valioso, aunque contrario, en Chris Singer y Robin McKie, *African Exodus*, Cape, Londres, 1996, pp. 48 ss.; véase también Alan G. Thorne y Milford H. Wolpoff, «The Multiregional Evolution of Humans», *Scientific American*, abril de 1992, pp. 28-33. <<

[12] Puede verse una descripción de los indicios genéticos que apoyan este modelo en Luigi Luca Cavalli-Sforza y Francesco Cavalli-Sforza, *The Great Human Diasporas: The History of Diversity and Evolution*, trad. inglesa, Addison-Wesley, Reading (Massachusetts), 1995 (hay trad. cast., *¿Quiénes somos? Historia de la diversidad humana*, Crítica, Barcelona, 1999). <<

[¹³] Sally McBrearty y Alison S. Brooks, «The Revolution that Wasn't: A New Interpretation of the Origin of Modern Human Behavior», *Journal of Human Evolution* 39 (2000), pp. 453-563. Doy entre paréntesis las referencias de las citas de este artículo que se reproducen a continuación. <<

[¹⁴] McBrearty y Brooks, «The Revolution that Wasn't», p. 497. <<

[15] McBrearty y Brooks, «The Revolution that Wasn't», pp. 493-494. <<

[16] Robert Wright, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Random House, Nueva York, 2000, p. 51. <<

[¹⁷] La imagen de las «redes» se ha utilizado menos de lo que debiera en el campo de la historia universal. William McNeill, *The Rise of the West: A History of the Human Community*, University of Chicago Press, Chicago, 1963 (hay trad. cast., *La civilización de Occidente*, Ed. Universitaria, Río Piedras, Puerto Rico, 1972⁴), sostenía que las interacciones de las comunidades humanas han sido el principal motor de cambio en la historia del mundo. En su obra más reciente, escrita en colaboración con John MacNeill, se aplica con mucha inteligencia la metáfora de las «redes de interacción». Véase J. R. McNeill y William H. McNeill, *The Human Web: A Bird's-Eye View of World History*, W. W. Norton, Nueva York, 2003 (hay trad. cast., *Las redes humanas*, Crítica, Barcelona, 2004). <<

[18] «El arquitecto estadounidense R. Buckminster Fuller (1895-1983) decía “sinergia” (del griego *synergía*, cooperación) para referirse a entidades cuyo comportamiento era superior a la suma de sus partes», elegante definición del término que tomo de Lynn Margulis y Dorion Sagan, *What is Life*, University of California Press, Berkeley, 1995, p. 8. <<

[19] Wright, *Nonzero*, p. 52; el capítulo 4, «The Invisible Brain», analiza la regla general de que el aumento de la densidad demográfica estimula la innovación. <<

[20] Puede verse una breve descripción de la reducción de los idiomas a lo largo de la historia en Frances Karttunen y Alfred W. Crosby, «Language Death, Language Genesis, and World History», *Journal of World History* 6, n.º 2 (otoño de 1995), pp. 157-174; la cantidad referida a la California de 1750, en p. 159; la referida a la Papúa y Nueva Guinea actual, en p. 173. <<

[21] Sobre la contribución de los estudios sobre los cazadores-recolectores modernos a la comprensión de la vida en el Paleolítico y sobre algunos inconvenientes de estas comparaciones, véase Allen W. Johnson y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies*, Stanford University Press, Stanford, 2000, sobre todo caps. 2 y 3. <<

[22] Colin Renfrew, *Archaeology and Language: The Puzzle of Indo-European Origins*, Penguin, Harmondsworth, 1989, p. 125 (hay trad. cast., *Arqueología y lenguaje: la cuestión de los orígenes indoeuropeos*, Crítica, Barcelona, 1990), da las estimaciones más bajas de la densidad demográfica; Massimo Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, trad. inglesa, Blackwell, Oxford, 1992, pp. 26-27 (trad. cast., *Historia de la población europea*, Crítica, Barcelona, 1999), da las más altas.

<<

[23] Marshall Sahlins, «The Original Affluent Society», en *Stone Age Economics*, Tavistock, Londres, 1972, pp. 1-39; la cita es de la p. 1. <<

[24] Marshall Sahlins, «The Original Affluent Society», p. 16. <<

[25] Johnson y Earle, *The Evolution of Human Societies*, p. 14. <<

[26] Los modelos de Eric R. Wolf, de sociedades «organizadas por parentesco», «exactoras» y «capitalistas», se describen en el cap. 2 de *Europe and the People Without History*, University of California Press, Berkeley, 1982 (hay trad. cast., *Europa y la gente sin historia*, FCE, México, 1987); véase otra versión de la vida cazadora-recolectora, también interesada por las estructuras de parentesco, en Johnson y Earle, «The Family-Level Group», parte 1 de *The Evolution of Human Societies*. <<

[27] Las leyes de reciprocidad han sido estudiadas por Karl Polanyi y sus partidarios; véase, por ejemplo, Karl Polanyi, Conrad M. Arensberg y Harry W. Pearson, *Trade and Market in the Early Empires: Economies in History and Theory*, Free Press, Glencoe (Illinois), 1957 (hay trad. cast., *Comercio y mercado en los imperios antiguos*, Labor, Barcelona, 1976); puede verse una introducción a las ideas de Polanyi en S. C. Humphrey, «History, Economics, and Anthropology: The Work of Karl Polanyi», *History and Theory* 8 (1969), pp. 165-212. <<

[28] Citado en Wright, *Nonzero*, p. 20. <<

[29] Richard Lee, *The Dobe !Kung*, Holt, Rinehart, and Winston, Nueva York, 1984, p. 96; citado en Johnson y Earle, *The Evolution of Human Societies*, p. 75. <<

[³⁰] Irenäus Eibl-Eibesfeldt, «Aggression and War: are they Part of Being Human?», en Göran Burenhult (ed.), *The Illustrated History of Humankind*, vol. 1, *The First Humans: Human Origins and History to 10,000 B. C.*, University of Queensland Press, St. Lucia (Australia), 1993, pp. 26-27. <<

[31] Christopher Chase-Dunn y Thomas D. Hall, *Rise and Demise: Comparing World-Systems*, Westview Press, Boulder (Colorado), 1997, p. 138. <<

[32] Tony Swain, *A Place for Strangers: Towards a History of Australian Aboriginal Being*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, hace una excelente exposición del papel que tiene el sentido del espacio en el pensamiento religioso y cosmológico de los aborígenes australianos. Véase también Deborah Bird Rose, *Nourishing Terrains: Australian Aboriginal Views of Landscape and Wilderness*, Australian Heritage Comission, Canberra, 1996. Doy las gracias a Frank Clarke por ambas referencias. <<

[33] Hobbles Danaiyarri, citado en Rose, *Nourishing Terrains*, p. 9. <<

[34] Sobre la percepción del cambio por estas sociedades hay varias sugerencias en el interesante pero complejo libro de Mircea Eliade, *The Myth of Eternal Return*, Harper, Nueva York, 1959. <<

[35] Gran parte de esta sección se ha basado en Stringer y McKie, *African Exodus*. <<

[36] Clive Gamble, *Timewalkers: The Prehistory of Global Colonization*, Penguin, Harmondsworth, 1995, p. 215 (hay trad. cast., *El poblamiento paleolítico de Europa*, Crítica, Barcelona, 1990). Sobre la nueva datación de los restos óseos del lago Mungo, efectuada por Alan Thorne, véase Alan Thorne y otros, «Australia's Oldest Human Remains: Age of the Lake Mungo 3 Skeleton», *Journal of Human Evolution*, 36 (junio de 1999), pp. 591-612; Richard G. Roberts, «Thermoluminescence Dating», en Burenhult (ed.), *The First Humans*, trae una foto de este refugio (p. 153) y de una piedra de molar procedente del mismo (p. 156). Pero véase también John Mulvaney y Johan Kamminga, *Prehistory of Australia*, Allen and Unwin, Sidney, 1999, pp. 130-146, donde se desconfía de las fechas anteriores a 50 000 años a. p. (sobre Malakunanja véanse pp. 140-142). <<

[37] Cavalli-Sforza y Cavalli-Sforza, *The Great Human Diasporas*, p. 123. <<

[38] Paul Ehrlich, *Human Natures: Genes, Cultures, and the Human Prospect*, Island Press, Washington DC, 2000, p. 166. <<

[39] Rhys Jones, «Fire Stick Farming», *Australian Natural History*, septiembre de 1969, pp. 224-228. <<

[40] Leigh Dayton, «Mass Extinctions Pinned on Ice Age Hunters», *Science*, 8 de junio de 2001, p. 1819. <<

[41] Stephen Pyne, *Fire in America: A Cultural History of Wildland and Rural Fire*, Princeton University Press, Princeton, 1982, p. 3. <<

[42] Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998², p. 112, donde cita a P. Mellars, «Fire Ecology, Animal Populations, and Man: A Study of Some Ecological Relationship in Prehistory», *Proceedings of the Prehistoric Society* 42 (1975), pp. 15-45. Sobre la «agricultura de antorchas» en Australia, véase Tim Flannery, *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood (Nueva Gales del Sur), 1995, pp. 217-236, que sugiere, con espíritu polémico, que el creciente protagonismo del fuego se debió indirectamente a la extinción de grandes herbívoros que consumían grandes cantidades de materia vegetal muerta. <<

[43] Andrew Goudie, *The Human Impact on the Natural Environment*, Blackwell, Oxford, 2000⁵, pp. 38-41. <<

[44] I. G. Simmons, *Environmental History: A Concise Introduction*, Blackwell, Oxford, 1999, p. 74. <<

[45] Johan Goudsblom, *Fire and Civilization*, Allen Lane, Harmondsworth, 1992. <<

[46] Peter Bogucki, *The Origins of Human Society*, Blackwell, Oxford, 1999, p. 92; y véase Elizabeth Wayland Barber, *Women's Work: The First 20,000 Years: Women, Cloth, and Society in Early Times*, W. W. Norton, Nueva York, 1994, cap. 2. <<

[47] Richard G. Klein, *Ice Age Hunters of the Ukraine*, University of Chicago Press, Chicago, 1973, p. 110; y véase Olga Soffer, «Sungir: A Stone Age Burial Site», en Burehult (ed.), *The First Humans*, pp. 138-39. <<

[48] Olga Soffer, «The Middle to Upper Paleolithic Transition on the Russian Plain», en Paul Mellars y Chris Stringer (eds.), *The human revolution*, Edinburgh University Press, Edimburgo, 1989, 1, p. 736. <<

[49] Z. A. Abramovo, «Two Models of Cultural Adaptation», *Antiquity* 63 (1989), p. 789; y véase Roland Fletcher, «Mammoth Bone Huts», en Burenhult (ed.), *The First Humans*, pp. 134-135. <<

[50] Brian M. Fagan, *The Journey from Eden: The Peopling of Our World*, Thames and Hudson, Londres, 1990, p. 186; N. D. Praslov, «Late Paleolithic Adaptations to the Natural Environment on the Russian Plain», *Antiquity* 63 (1989), p. 786. <<

[51] Olga Soffer, «Patterns of Intensification as Seen from the Upper Paleolithic of the Central Russian Plain», en T. Douglas Price y James A. Brown (eds.), *Prehistoric Hunter-Gatherers: The Emergence of Cultural Complexity*, Academic Press, Orlando (Florida), 1985, p. 243; y Soffer, «Storage, Sedentism, and the Eurasian Paleolithic Record», *Antiquity* 63 (1989), 726. <<

[52] Timothy Champion *et al.*, *Prehistoric Europe*, Academic Press, Londres, 1984, p. 81 (hay trad. cast., *Prehistoria de Europa*, Crítica, Barcelona, 1996). Se han encontrado cifras parecidas en Siberia, en los yacimientos de Mal'ta y Buret'; *vid.* A. P. Okladnikov, «Inner Asia at the Dawn of History», en Denis Sinor (ed.), *Cambridge History of Early Inner Asia*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, p. 56. Clive Gamble, *The Palaeolithic Settlement of Europe*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, p. 326, muestra los yacimientos donde se han encontrado las Venus; y véase Chris Stringer y Clive Gamble, *In Search of the Neanderthals: Solving the Puzzle of Human Origins*, Thames and Hudson, Londres, 1993, p. 210. <<

[53] Mulvaney y Kamminga, *Prehistory of Australia*, pp. 28-31. <<

[54] Stringer y McKie, *African Exodus*, p. 150. <<

[55] Göran Burenhult, «The Rise of Art», en Burenhult (ed.), *The First Humans*, p. 1000. <<

[56] Véanse las cantidades citadas en Stringer y McKie, *African Exodus*, p. 150 (para 100 000 a. p.), y Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, p. 31; y véase el excelente resumen de Thomas M. Whitmore *et al.*, «Long-Term Population Change», en B. L. Turner II *et al.* (eds.), *The Earth Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, pp. 25-39. <<

[57] Un libro fascinante aunque polémico sobre el impacto de la agricultura de antorchas en Australia y Nueva Zelanda es Flannery, *The Future Eaters*. <<

[58] Ciertos fósiles encontrados recientemente dan a entender que hubo una especie de mamutes enanos que vivieron aislados en la isla de Wrangel, en el océano Ártico, hasta hace aproximadamente 4500 años (Roberts, *The Holocene*, p. 86). <<

[59] Dayton, «Mass Extinctions Pinned on Ice Age Hunters», presenta pruebas de que los humanos utilizaban la agricultura de antorchas hace por lo menos 45 000 años; y véase Tim Flannery, *The Eternal Frontier: An Ecological History of North America and its Peoples*, Atlantic Monthly Press, Nueva York, 2001, pp. 189-191. <<

[60] Alfred Wallace, citado en Flannery, *The Future Eaters*, p. 181. <<

[61] Véase Richard G. Roberts, Timothy F. Flannery, Linda K. Ayliffe, Hiroyuki Yoshida *et al.*, «New Ages for the Last Australian Megafauna: Continent-wide Extinction about 46,000 Years Ago», *Science*, 8 de junio de 2001, pp. 1888-1892, y John Alroy, «A Multispecies Overkill Simulation of the End-Pleistocene Megafaunal Mass Extinction», *Science*, 8 de junio de 2001, pp. 1893-1896. Estos dos artículos, por datar las extinciones con más precisión y servirse de modelos informáticos perfeccionados sobre los probables efectos humanos en la megafauna paleolítica, vienen a corroborar con gran fuerza la idea de que la responsabilidad fue sobre todo de los humanos primitivos; al parecer, todas las especies terrestres australianas por encima de los 100 kilos desaparecieron hace unos 46 000 años, poco después de la llegada de los humanos, según las dataciones más fiables. <<

[62] Roberts, *The Holocene*, p. 83, que cita a Paul S. Martin y Richard G. Klein (eds.), *Quaternary Extinctions*, University of Arizona Press, Tucson, 1984. <<

[63] Véase Flannery, *The Future Eaters*, pp. 164-207, que describe muy bien este debate y argumenta de un modo convincente que la causa fue la acción humana, y Jared Diamond, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, Vintage, Londres, 1998, pp. 46-47, que subraya la trascendencia de estas extinciones. Cf. también Mulvaney y Kamminga, *Prehistory of Australia*, pp. 124-129, para ver una valoración de los testimonios australianos que no comulga con la tesis de la cacería excesiva. <<

[64] Stringer y McKie, *African Exodus*, pp. 101-104. <<

[65] Burenhult, «The Rise of Art», p. 104. <<

[66] Sobre la posible supervivencia en Java de homínidos distintos de los humanos modernos entre 53 000-27 000 a. p. véase Richard G. Klein, *The Human Career: Human Biological and Cultural Origins*, University of Chicago Press, Chicago, 1999, p. 395; sobre la supervivencia de neandertales en Europa occidental hasta aproximadamente 30 000 a. p., véanse las pp. 477 y ss. <<

Epígrafe: Lester R. Brown, *Eco-Economy: Building an Economy for the Earth*, W. W. Norton, Nueva York, 2001, p. 93 (hay trad. cast., *Eco-economía: para una economía en la medida de la tierra*, Hacer, Barcelona, 2004).

[1] Véase Colin Renfrew, *Archaeology and Language: The Puzzle of Indo-European Origins*, Penguin, Harmondsworth, 1989, p. 125, para la estimación más baja, y Massimo Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, trad. inglesa, Blackwell, Oxford, 1992, pp. 26-27, para las más altas. <<

[2] J. R. Biraben, «Essai sur l'évolution du nombre des hommes», *Population* 34 (1979), p. 23. <<

[3] La descripción de este párrafo se basa en Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998², cap. 4. <<

[4] Robert Wright, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Random House, Nueva York, 2000, p. 29; Wright sugiere asimismo (p. 52), y muy acertadamente, que Tasmania se enfoque como un mundo del todo independiente. <<

[5] Para las influencias del sureste asiático en Australia, véase Josephine Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, Collins, Sidney, 1983, pp. 222-293. <<

[6] Acerca de América dice John Kicza: «No hay ninguna prueba convincente de que hubiera algo más que contactos casuales con sociedades exteriores antes de la llegada de Colón, en 1492» («The Peoples and Civilizations of the Americas Before Contact», en Michael Adas, ed., *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, Temple University Press, Filadelfia, 2001, p. 183). <<

[7] Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, pp. 236-237. <<

[8] Véase Ben Finney, «The Other One-Third of the Globe», *Journal of World History* 5, n.º 2 (otoño de 1994), pp. 273-298; J. R. McNeill, «Of Rats and Men: A Synoptic Environmental History of the Island Pacific», *Journal of World History* 5, n.º 2 (otoño de 1994), pp. 299-349; y Tim Flannery, *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood (Nueva Gales del Sur), 1995. <<

[9] Robert J. Wenke, *Patterns in Prehistory: Humankind's First Three Million Years*, Oxford University Press, Nueva York, 1990, p. 208; y véase Joseph Greenberg y Merritt Ruhlen, «Linguistic Origins of Native Americans», *Scientific American*, noviembre de 1992, p. 94. <<

[¹⁰] Jared Diamond, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, Vintage, Londres, 1998, ha estudiado la comparación entre estos mundos con mucha perspicacia; muchos puntos argumentales de esta sección se basan en planteamientos y soluciones de Diamond. <<

[11] Jared Diamond, *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee*, Vintage, Londres, 1991, p. 165 (hay trad. cast., *El tercer chimpancé*, Espasa-Calpe, Madrid, 1994). <<

[12] «Algunas especies de animales domésticos tienen el cerebro más pequeño y menos desarrollado que el de sus antepasados salvajes, porque ya no necesitan el cerebro grande ni los órganos más desarrollados de los que dependían sus antepasados para huir de los depredadores» (Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, p. 159). <<

[13] Bruce D. Smith, *The Emergence of Agriculture*, Scientific American Library, Nueva York, 1995, p. 18. <<

[14] Un buen comentario sobre el impacto de la aclimatación de cultivos en Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, cap. 7. <<

[15] Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, p. 219. <<

[16] Los restos caninos más antiguos —es decir, de lobos domesticados— se han encontrado en Irak y se remontan aproximadamente a 10 000-12 000 a. C.; véase Charles B. Heiser, *Seed to Civilization: The Story of Food*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1990 (nueva ed.), p. 37. <<

[¹⁷] Smith, *Emergence of Agriculture*, pp. 67 y 72. <<

[¹⁸] Smith, *Emergence of Agriculture*, pp. 85-86, 61, 57 y 64-65. <<

[19] Sobre los cerdos, véase Clive Ponting, *A Green History of the World*, Penguin, Harmondsworth, 1992, p. 44 (hay trad. cast., *Historia verde del mundo*, Paidós, Barcelona, 1992); sobre el ganado bovino, véase Heiser, *Seed to Civilization*, p. 43; Wenke, *Patterns in Prehistory*, p. 248. <<

[20] Brian M. Fagan, *People of the Earth: An Introduction to World Prehistory*, Prentice Hall, Upper Saddle River (Nueva Jersey), 2001, p. 244. Para los últimos uros véase Heiser, *Seed to Civilization*, pp. 43-44. <<

[21] Jared Diamond ha expuesto también de modo muy convincente que la brecha refleja asimismo una cantidad menor de plantas domesticables realmente valiosas; véase *Guns, Germs, and Steel*, caps. 8 y 9. <<

[22] Smith, *Emergence of Agriculture*, pp. 159, 181 y 197-198; Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, pp. 150-151. <<

[23] Puede verse una buena aunque algo anticuada exposición del problema que supone explicar la transición a la agricultura en Mark Cohen, *The Food Crisis in Prehistory*, Yale University Press, 1977, cap. 1 (hay trad. cast., *La crisis alimentaria de la prehistoria*, Alianza, Madrid, 1981). <<

[24] Cohen, *The Food Crisis in Prehistory*, p. 5. <<

[25] Marek Zvelebil, «Mesolithic Prelude and Neolithic Revolution», en Marek Zvelebil (ed.), *Hunters in Transition: Mesolithic Societies of Temperate Eurasia and Their Transition to Farming*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 11-13. <<

[26] Mark Cohen, *Health and the Rise of Civilization*, Yale University Press, 1989, pp. 112-113. <<

[27] Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, pp. 206-210. <<

[28] Cohen, *Health and the Rise of Civilization*, pp. 132 y 139. <<

[29] Cohen, *Health and the Rise of Civilization*, p. 139. <<

[³⁰] John H. Coatsworth, «Welfare», *American Historical Review* 101, n.^o 1 (febrero de 1996), p. 2; doy las gracias a Tom Passananti por esta referencia. <<

[31] Véase un resumen de las teorías sobre el origen de la agricultura en Fagan, *People of the Earth*, pp. 232-235. <<

[32] La explicación que doy en el texto debe mucho a los modelos propuestos en Bruce Smith, *Emergence of Agriculture*, y en Donald O. Henry en *From Foraging to Agriculture: The Levant and the End of Ice Age*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1989. <<

[33] Cohen, *The Food Crisis in Prehistory*, pp. 19 ss. <<

[34] Henry, *From Foraging to Agriculture*, p. 231. <<

[35] Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, pp. 187-190. <<

[36] Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, p. 195. Hay una interesante comparación entre la intensificación en Australia y en Papuasia-Nueva Guinea en el cap. 15 de *Diamond, Guns, Germs, and Steel.* <<

[37] Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, p. 205. <<

[38] Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, pp. 204-207. <<

[39] Flood, *Archaeology of the Dreamtime*, pp. 226-228. <<

[40] Wenke, *Patterns in Prehistory*, pp. 254-256. <<

[41] Fagan, *People of the Earth*, pp. 216 y 218. <<

[42] P. M. Dolukhanov, «The Late Mesolithic and the Transition to Food Production in Eastern Europe», en Zvelebil (ed.), *Hunters in Transition*, p. 116. <<

[43] Roland Oliver, *The African Experience*, Westview Press, Boulder (Colorado), 2000, p. 35. <<

[44] Roberts, *The Holocene*, pp. 147-148. <<

[45] Para la influencia de estas prácticas en la predisposición de las comunidades humanas a la agricultura véase el fabuloso aunque complejo estudio de David Rindo, *Origins of Agriculture: An Evolutionary Perspective*, Academic Press, Nueva York, 1984 (hay trad. cast., *Los orígenes de la agricultura, una perspectiva evolucionista*, Ediciones Bellaterra, Barcelona, 1990). <<

[46] Diamond defiende en *Guns, Germs, and Steel*, cap. 8, el importantísimo papel que desempeñó la disponibilidad de estas especies. <<

[47] Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, pp. 134-138. <<

[48] Cohen, *The Food Crisis in Prehistory*, p. 65. Véase también Ester Boserup, *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*, Adline, Chicago, 1965 (hay trad. cast., *Las condiciones del desarrollo en la agricultura: la economía del cambio agrario bajo la presión demográfica*, Tecnos, Madrid, 1967). <<

[49] Cohen, *The Food Crisis in Prehistory*, p. 85. <<

[50] Paul Bairoch, *Cities and Economic Development: From the Dawn of History to the Present*, trad. inglesa, University of Chicago Press, Chicago, 1988, p. 7, donde cita a Fekri A. Hassan, *Demographic Archaeology*, Academic Press, Nueva York, 1981. <<

[51] James Dawson, informe de 1881 citado en John Mulvaney y Johan Kamminga, *Prehistory of Australia*, Allen and Unwin, Sidney, 1999, p. 94. <<

[52] Andrew Sherratt, «Reviving the Grand Narrative: Archaeology and Long-term Change», *Journal of European Archaeology* 3, n.º 1 (1995), pp. 20-21. <<

[53] Henry, *From Foraging to Farming*, pp. 49-51. <<

[54] Margaret Ehrenberg defiende el papel innovador de las mujeres en *Women in Prehistory*, University of Oklahoma Press, Norman, 1989, pp. 80-85; véase también Elizabeth Wayland Barber, *Women's Work: The First 20,000 Years: Women, Cloth, and Society in Early Times*, W. W. Norton, Nueva York, 1994, cap. 3. <<

[55] Fagan, *People of the Earth*, pp. 257-259. <<

[56] Fagan, *People of the Earth*, p. 257. <<

[57] Véase el estado de la cuestión en Smith, *Emergence of Agriculture*, pp. 210-214.

<<

[58] Smith, *Emergence of Agriculture*, p. 213. <<

[59] Para las comunidades semisedentarias de América, véase Kicza, «Peoples and Civilizations of the Americas Before Contact», sobre todo pp. 212-217. <<

[60] Elman R. Service, *Primitive Social Organization: An Evolutionary Perspective*, Random House, Nueva York, 1971², pássim; véase también, para las tipologías de las sociedades humanas, Allen W. Johnson y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies: From Foraging Group to Agrarian State*, Stanford University Press, Stanford, 2000², pp. 32-35. <<

[61] Véase Marija Gimbutas, *The Civilization of the Goddess: The World of Old Europe*, Joan Marler (ed.), Harper and Row, San Francisco, 1991. <<

[62] I. G. Simmons, *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*, Blackwell, Oxford, 1996², p. 94. <<

[63] Andrew Goudie, *The Human Impact on the Natural Environment*, Blackwell, Oxford, 2000⁵, p. 188. Por término medio y en condiciones naturales, los suelos se forman a menos de 0,1 mm/año y se eliminan alrededor de 0,05-2 mm/año. En régimen de cultivo se eliminan alrededor de 5-10 mm/año; en régimen de pastos alrededor de 1 mm/año. Pero donde los suelos quedan pelados, la proporción de las pérdidas puede llegar a 25-100 mm/año. La actividad humana puede destruir rápidamente suelos que han tardado milenios en formarse. <<

[64] Sobre el limitado impacto ecológico de los primeros agricultores en Europa, véase Roberts, *The Holocene*, pp. 154-158. <<

[1] Anthony Giddens llama poder «de adjudicación» y poder «de autoridad» al dominio sobre las cosas y sobre las personas, respectivamente (*The Nation-State and Violence*, vol. 2 de *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Polity Press, Cambridge, 1985, p. 7). <<

[2] Marvin Harris, «The Origin of Pristine States», en Marvin Harris (ed.), *Cannibals and Kings*, Vintage, Nueva York, 1978, p. 102 (hay trad. cast., *Caníbales y reyes: los orígenes de las culturas*, Alianza, Madrid, 1997). <<

[3] Puede verse un útil resumen de los modelos de gestación de ciudades y estados en Allen W. Johnson y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies*, Stanford University Press, Stanford, 2000²; la tipología que proponen para todas las sociedades preindustriales aparece resumida en las pp. 32 y 36. Véase también Brian M. Fagan, *People of the Earth: An Introduction to World Prehistory*, Prentice Hall, Upper Saddle River (Nueva Jersey), 2001, pp. 368-385. <<

[4] El principal argumento de Johnson y Earle en *The Evolution of Human Societies* es que el crecimiento demográfico es el factor fundamental en la aparición de sociedades más complejas; pongo un ejemplo: «Aunque veremos que su papel exacto es motivo de encendidas polémicas, el crecimiento demográfico es de una importancia fundamental innegable para la evolución sociocultural, dado que salta a la vista su influencia en la satisfacción de las necesidades humanas básicas. Sea cual fuere el medio, el crecimiento demográfico crea problemas de tecnología, de organización social de la producción y de reglamentación política que es necesario resolver. Nosotros demostraremos que las soluciones a estos problemas conllevan los cambios a los que llamamos evolución sociocultural» (p. 2). <<

[5] Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987, p. 130. <<

[6] William McNeill, *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society Since A. D. 1000*, Blackwell, Oxford, 1982, p. VII (hay trad. cast., *La búsqueda del poder: tecnología, fuerzas armadas y sociedad desde el 1000 d. C.*, Siglo XXI, Madrid, 1989). <<

[7] Lewis Thomas, *Societies as Organisms*, Viking, Londres, 1974; citado en C. Tickell, «The Human Species: A Suicidal Success?», en Andrew Goudie (ed.), *The Human Impact Reader: Readings and Case Studies*, Blackwell, Oxford, 1997, p. 450.

<<

[8] Johnson y Earle hablan de un bucle de retroacción un poco más sencillo: «el proceso de retroacción entre población y tecnología es el motor del proceso evolutivo» (*Evolution of Human Societies*, p. 14). Robert Wright estudia una retroacción parecida en *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Random House, Nueva York, 2000, cap. 4, especialmente p. 50. <<

[9] Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998², p. 112. <<

[¹⁰] Andrew Goudie, *The Human Impact on the Natural Environment*, Blackwell, Oxford, 2000⁵, p. 82; Goudie cuenta que en unos experimentos realizados recientemente en Dinamarca se consiguieron talar más de 100 árboles con un hacha de sílex sin filo de 4000 años de antigüedad. <<

[11] Goudie, *The Human Impact*, p. 52. <<

[12] Andrew Sherratt, «Plough and Pastoralism: Aspects of the Secondary Products Revolution», en Ian Holder, Glynn Isaac y Norman Hammond (eds.), *Patterns of the Past: Studies in Honour of David Clarke*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981, pp. 261-305; y véase la última versión de su tesis en «The Secondary Exploitation of Animals in the Old World» (1983, ed. rev.), en *Economy and Society in Prehistoric Europe: Changing Perspectives*, Princeton University Press, Princeton, 1997, pp. 199-228. <<

[13] I. G. Simmons, *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*, Blackwell, Oxford, 1996², p. 94. <<

[14] Véase David Christian, *A History of Russia, Central Asia, and Mongolia*, vol. 1, *Inner Eurasia from Prehistory to the Mongol Empire*, Blackwell, Oxford, 1998, sobre todo cap. 4, y D. Christian, «Silk Roads or Steppe Roads? The Silk Roads in World History», *Journal of World History* 11, n.º 1 (primavera de 2000), pp. 1-26. <<

[15] Margaret Ehrenberg, *Women in Prehistory*, University of Oklahoma Press, Norman, 1989, p. 99; cf. pp. 99-107 para ver un repaso general de las relaciones entre el patriarcado y la revolución de los productos secundarios. Véase también Elizabeth Wayland Barber, *Women's Work: The First 20,000 Years: Women, Cloth, and Society in Early Times*, W. W. Norton, Nueva York, 1994, pp. 97-98. <<

[16] La trascendencia de este contraste entre una Afroeurasia abundante en ganado y una América apenas sin ganado aparece muy bien explicada en Jared Diamond, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, Vintage, Londres, 1998, sobre todo cap. 18. <<

[¹⁷] John McNeill ha señalado que todavía en 1800 d. C. la fuerza muscular humana seguía produciendo alrededor del 70 por ciento de toda la energía (J. R. McNeill, *Something New under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*, W. W. Norton, Nueva York, 2000, p. 11. <<

[18] Robert J. Wenke, *Patterns in Prehistory: Humankind's First Three Million Years*, Oxford University Press, Nueva York, 1990³, p. 336. <<

[19] John H. Coatsworth, «Welfare», *American Historical Review* 101, n.º 1 (febrero de 1996), pp. 6-7. <<

[20] Christian, *A History of Russia, Central Asia, and Mongolia*, vol. 1, pp. 129-131.

<<

[21] Los humanos transforman en energía alrededor del 18 por ciento de lo que comen, los caballos sólo el 10 por ciento; para los propietarios, los esclavos eran por lo tanto un medio particularmente rentable de almacenar energía (J. R. McNeill, *Something New under the Sun*, pp. 11-12). <<

[22] Barber, *Women's Work*, pp. 29-35, sostiene la tesis de que el papel de las mujeres de las sociedades agrarias estuvo limitado fundamentalmente por las necesidades de la crianza de los niños. <<

[23] Esta sección se basa en ideas que oí exponer por primera vez en los elegantes cursos sobre sociología del poder que dio Bob Norton en la Universidad Macquarie de Sidney a principios de los años noventa. <<

[24] Michael Mann hace una diferencia parecida entre el poder «distributivo» (poder de A sobre B) y el poder «colectivo» (poder basado en la cooperación); el poder distributivo tiende a lo coercitivo y lo ilegítimo, mientras que el colectivo tiende a lo voluntario y lo legítimo, aunque en realidad los dos se imbrican y su relación es dialéctica. Véase Mann, *The Sources of Social Power*, vol. 1, *A History of Power from the Beginning to A. D. 1760*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986 (hay trad. cast., *Las fuentes del poder social*, vol. 1, *Una historia del poder desde los comienzos hasta 1760*, Alianza, Madrid, 1991-1997). <<

[25] Mann señala lo mismo con una terminología algo diferente al argüir que «el poder colectivo precedió al poder distributivo» (*The Sources of Social Power*, 1, p. 53). <<

[26] Harris, «The Origin of Pristine States», p. 106. <<

[27] Malinowski, citado en Harris, «The Origin of Pristine States», p. 109. <<

[28] Mi versión de la evolución de las ciudades en Mesopotamia se basa en buena medida en Hans Jörg Nissen, *The Early History of the Ancient Near East, 9000-2000 B. C.*, trad. inglesa, University of Chicago Press, Chicago, 1988; véase también Susan Pollock, *Ancient Mesopotamia: The Eden that Never Was*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999, y D. T. Potts, *Mesopotamian Civilization: The Material Foundations*, Cornell University Press, Ithaca (Nueva York), 1997. <<

[29] Andrew Sherratt, «Reviving the Grand Narrative: Archaeology and Long-Term Change», *Journal of European Archaeology* 3, n.º 1 (1995), p. 17. <<

[30] Sherratt, «Reviving the Grand Narrative», p. 19: «Este elemento del “arco voltaico” entre regiones abundantes en recursos es fundamental para iniciar una modalidad de producción de trabajo intensivo [...] los productos textiles son particularmente ilustrativos en este sentido y casi siempre han estado relacionados con el desarrollo de las ciudades». La vigencia de esta observación sobre los productos textiles reaparece más tarde, con la revolución industrial. <<

[31] Christopher Ehrer, «Sudanic Civilization», en Michael Adas (ed.), *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, Temple University Press, Filadelfia, 2001, pp. 244-245. <<

[32] Nissen, *The Early History of the Ancient Near East*, pp. 55-61 y 67-73. <<

[33] Anthony Giddens, *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Macmillan, Basingstoke, 1995², p. 96, remite en este contexto a la idea de Lewis Mumford de las ciudades como centros contenedores y concentradores de poder. <<

[34] La diferencia entre ciudades-estado y estados territoriales es perceptible en todas las regiones donde aparecen los primeros estados; el tema se estudia en Bruce G. Trigger, *Early Civilizations: Ancient Egypt in Context*, American University in Cairo Press, El Cairo, 1993, pp. 8-14. <<

[35] Es posible que el estado no consiga el monopolio del dominio legítimo de los mecanismos de la violencia, que Max Weber consideraba la esencia de un estado, pero es innegable que lo desea; para Giddens el estado es «una organización política [esto es, una organización que puede ejercer poder] cuyo régimen se organiza territorialmente y es capaz de movilizar medios violentos para defender dicho régimen» (*The Nation-State and Violence*, p. 20). <<

[36] Harris, «The Origin of Pristine States», pp. 113-115. <<

[37] Valerie Hansen, *The Open Empire: A History of China to 1600*, W. W. Norton, Nueva York, 2000, p. 35. <<

[38] *The Russian Primary Chronicle: Laurentian Text* (994-96 d. C.), edición y trad. inglesa, Mediaeval Academy of America, Cambridge (Massachusetts), 1953, p. 122.

<<

[39] Constantino Porfirogéneta, *De Administrando Imperio*, edición y trad. inglesa, Dumbarton Oaks Center for Byzantine Studies, Washington D. C., 1967, 1, p. 63. <<

[40] Charles Tilly, *Coercion, Capital, and European States, A. D. 990-1992*, Blackwell, Cambridge (Massachusetts), 1992 (ed. rev.), pp. 1-2 (hay trad. cast., *Coerción, capital y los estados europeos: 900-1900*, Alianza, Madrid, 1992). Sin embargo, no estoy de acuerdo con Tilly cuando dice que estas entidades se pueden localizar ya en Jericó o en Çatal Hüyük. <<

[41] J. R. McNeill, *Something New under the Sun*, p. 12. <<

[42] «El empleo de la fuerza militar, o la amenaza de su empleo, ha sido en términos generales una de las principales columnas del estado tradicional, toda vez que el estado carecía de medios para “administrar directamente” las regiones sometidas a su dominio» (Giddens, *Nation-State and Violence*, p. 58). <<

[43] Giddens, *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, p. 104. <<

[44] Giddens ha hecho mucho hincapié en la debilidad de los estados tradicionales; véase, por ejemplo, *Nation-State and Violence*, p. 57, donde resume su tesis sobre los límites del poder estatal en lo que él llama sociedades «de clases»; véase también sus generalizaciones, basadas en historiadores de la Francia moderna, sobre los niveles de la violencia rural (p. 60). <<

[45] Nissen, *Early History of the Ancient Near East*, p. 80. <<

[46] Nissen, *Early History of the Ancient Near East*, pp. 83 y 84 (foto de símbolo). <<

[⁴⁷] Giddens hace hincapié en las relaciones entre escritura y poder, así como en la idea de que la escritura es información almacenada; *vid.* por ejemplo *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, pp. 94-95. En *The Nation-State and Violence* dice: «La escritura no se inventó como representación isomórfica del habla, sino como modo de notación administrativa que se utilizaba para registrar hechos o llevar cuentas» (p. 41). <<

[48] Hansen, *The Open Empire*, pp. 17-28. <<

[49] Trigger, *Early Civilizations*, p. 44. <<

[50] Véase Eric R. Wolf, *Europe and the People Without History*, University of California Press, Berkeley, 1982, cap. 3. <<

[51] Giddens, *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, p. 112. <<

[52] Wenke, *Patterns in Prehistory*, pp. 480-481 y 534. <<

[53] Michael D. Coe, *Mexico: From the Olmecs to the Aztecs*, Thames and Hudson, Nueva York, 1994, p. 71. <<

[54] Coe, *Mexico*, pp. 75-76. <<

[55] Fagan, *People of the Earth*, pp. 540-541. <<

[1] Robert Wright, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Random House, Nueva York, 2000, p. 108. <<

[2] Para algunos estudios recientes sobre la dispersión lingüística en Eurasia, véase Colin Renfrew, *Archaeology and Language: The Puzzle of Indo-European Origins*, Penguin, Harmondsworth, 1989, y J. P. Mallory, *In Search of the Indo-Europeans: Language, Archaeology, and Myth*, Thames and Hudson, Londres, 1989. Para ver un análisis de las teorías de las migraciones «bantú» en África, cf. Jan Vansina, «New Linguistic Evidence and “the Bantu Expansion”», *Journal of African History* 36, n.º 2 (1995), pp. 173-195; doy las gracias a Heike Schmidt por esta referencia. <<

[3] Jared Diamond, *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*, Vintage, Londres, 1998, caps. 2 y 8; Ben Finney, «The Other One-Third of the Globe», *Journal of World History* 5, n.º 2 (otoño de 1994), pp. 273-298; y J. R. McNeill, «Of Rats and Men: A Synoptic Environmental History of the Island Pacific», *Journal of World History* 5, n.º 2 (otoño de 1994), pp. 299-349. Tim Flannery, *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood (Nueva Gales del Sur), 1995, pp. 164-165, da fechas más tardías para la colonización de Nueva Zelanda. <<

[4] Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, cap. 2. <<

[5] David Christian, «Silk Roads or Steppe Roads? The Silk Roads in World History», *Journal of World History* 11, n.º 1 (primavera de 2000), pp. 1-26. <<

[6] El alcance y omnipresencia de la brecha entre las masas y los grupos privilegiados es lo que hace que Anthony Giddens llame sociedades «de clases» a estas sociedades; véase, por ejemplo, *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Macmillan, Basingstoke, 1995², p. 159. <<

[7] Eric R. Wolf, *Europe and the People Without History*, University of California Press, Berkeley, 1982, sobre todo cap. 3. <<

[8] William McNeill, «The Disruption of Traditional Forms of Nurture», en *The Disruption of Traditional Forms of Nurture*, Het Spinhuis, Amsterdam, 1998, pp. 7-8, 29-53; doy las gracias al profesor McNeill por esta referencia. <<

[9] El mejor análisis de estas relaciones se encuentra en Thomas J. Barfield, *The Perilous Frontier: Nomadic Empires and China*, Blackwell, Oxford, 1989; y véase Nicola di Cosmo, «State Formation and Periodization in Inner Asian History», *Journal of World History* 10, n.º 1 (primavera de 1999), pp. 1-40. <<

[¹⁰] Janet Abu-Lughod, *Before European Hegemony: The World System, A. D. 1250-1350*, Oxford University Press, Nueva York, 1989; y André Gunder Frank y Barry K. Gills (eds.), *The World System: Five Hundred Years or Five Thousand?*, Routledge, Londres, 1992. <<

[11] Christopher Chase-Dunn y Thomas D. Hall, *Rise and Demise: Comparing World Systems*, Westview Press, Boulder (Colorado), 1997. <<

[12] Michael Mann, *The Sources of Social Power*, vol. 1, *A History of Power From the Beginning to A. D. 1760*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986. <<

[13] «La aplicación de múltiples criterios delimitadores producirá a menudo niveles de delimitación del sistema que aparecerán inscritos unos en otros. Por lo general, las mercancías al por mayor compondrán la red de interacción regional más pequeña. La interacción política/militar compondrá una red mayor que podría abarcar más de una red de mercancías al por mayor, y los intercambios de productos de prestigio abarcarán regiones mayores aún que podrían contener a su vez una o más redes políticas/militares. Es de esperar que la red de información tenga el mismo tamaño que la de productos de prestigio: unas veces será mayor, otras menor» (Chase-Dunn y Hall, *Rise and Demise*, p. 53). <<

[14] Hans Jörg Nissen, *The Early History of the Ancient Near East*, University of Chicago Press, Chicago, 1988, pp. 167-168. <<

[15] Charles L. Redman, «Mesopotamia in the First Cities», en Göran Burenhult (ed.), *The Illustrated History of Humankind*, vol. 3, *Old World Civilizations: The Rise of Cities and States*, University of Queensland Press, St. Lucia (Australia), 1994, p. 32.

<<

[16] Poeta anónimo sumerio, trad. inglesa en *Ancient Near Eastern Texts Relating to the Old Testament*, Princeton University Press, Princeton (Nueva Jersey), 1969, pp. 647-648; citado en A. Bernard Knapp, *The History and Culture of Ancient Western Asia and Egypt*, Dorsey Press, Chicago, 1988, p. 87. Se desconoce el lugar exacto donde estaba Acad. <<

[¹⁷] Es lo que se afirma en Barry K. Gills y André Gunder Frank, «World System Cycles, Crises, and Hegemonic Shifts, 1700 BC to 1700 AD», en Gunder Frank y Gills (eds.), *The World System*, pp. 143-199, sobre todo pp. 153-155. <<

[18] Paul Bairoch, *Cities and Economic Development: From the Dawn of History to the Present*, trad. inglesa, University of Chicago Press, Chicago, 1988, p. 27. <<

[19] Véase Christian, «Silk Roads or Steppe Roads?». <<

[20] Véase Barry K. Gills y André Gunder Frank, «The Cumulation of Accumulation», en Gunder Frank y Gills (eds.), *The World System*, pp. 81-114, sobre todo p. 86, y Chistian, «Silk Roads or Steppe Roads?», para conocer dos enfoques que hacen hincapié en la transcendencia de los primeros intercambios transeuroasiáticos. <<

[21] Lynda Shaffer, «Southernization», en Michael Adas (ed.), *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, Temple University Press, Filadelfia, 2001, pp. 308-324; publicado originalmente en *Journal of World History* 5, n.º 1 (primavera de 1994), pp. 1-21. <<

[22] Shaffer, «Southernization». <<

[23] Para la historia de Kush y Axum, véase Stanley M. Burstein (ed.), *Ancient African Civilizations: Kush and Axum*, Markus Wiener, Princeton, 1998; y véase Christopher Ehret, «Sudanic Civilization», en Adas (ed.), *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, pp. 224-274. <<

[24] He hablado con detalle de las estepas euroasiáticas en David Christian, *A History of Russia, Central Asia and Mongolia*, vol. 1, *Inner Eurasia from Prehistory to the Mongol Empire*, Blackwell, Oxford, 1998. <<

[25] Hay quien sostiene que alguna expedición china pudo haber cruzado el Pacífico en el primer milenio a. C. e influido en las culturas mayas de Mesoamérica y en la cultura chavín de Perú, pero los testimonios al respecto son indirectos y circunstanciales; véase Louise Levathes, *When China Ruled the Seas: The Treasure Fleet of the Dragon Throne, 1405-1433*, Simon and Schuster, Nueva York, 1994, cap. 1, y Joseph Needham y Lu Gwei-djen, *Trans-Pacific Echoes and Resonances: Listening Once Again*, World Scientific, Singapur, 1984. <<

[26] Robert J. Wenke, *Patterns in Prehistory: Humankind's First Three Million Years*, Oxford University Press, Nueva York, 1990³, p. 498. <<

[27] Citado en John E. Kicza, «The Peoples and Civilizations of the Americas Before Contact», en Adas (ed.), *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, p. 190. <<

[28] Díaz del Castillo, *The Conquest of New Spain*, trad. inglesa, Penguin, Harmondsworth, 1963, p. 214 (texto original tomado de Bernal Díaz del Castillo, *Historia verdadera de la conquista de Nueva España*, Espasa-Calpe, Madrid, 1968, p. 178). <<

[29] Wenke, *Patterns in Prehistory*, p. 515. <<

[30] William R. Thompson, «The Military Superiority Thesis and the Ascendancy of Western Eurasia in the World System», *Journal of World History* 10, n.º 1 (1999), p. 172, que remite a Rein Tagepera, «Expansion and Contraction Patterns of Large Polities: Context for Russia», *International Studies Quarterly* 41 (1997), pp. 475-504.

<<

[31] Robert S. Lopez, *The Commercial Revolution of the Middle Ages, 950-1350*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs (Nueva Jersey), 1971, p. 1 (hay trad. cast., *La revolución comercial en la Europa medieval*, El Albir, Barcelona, 1981). <<

[32] Emmanuel Le Roy Ladurie, *The Peasants of Languedoc*, trad. inglesa, University of Illinois Press, Urbana, 1974, p. 4. <<

[33] E. A. Wrigley, *Population and History*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1969, pp. 55-57 (hay trad. cast., *Historia y población*, Crítica, Barcelona, 1985). <<

[34] Véase también la conclusión de Thomas M. Whitmore *et al.*, «Longterm population change», en B. L. Turner y otros (eds.), *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, p. 37: «El estudio de los registros demográficos de un período largo a escala regional permite ver una pauta común de episodios significativos de auge y decadencia». <<

[35] I. G. Simmons, *Environmental History: A Concise Introduction*, Blackwell, Oxford, 1993, p. 13. Véase también Whitmore *et al.*, «Long-Term Population Change». <<

[36] Michael D. Coe, *The Maya*, Praeger, Nueva York, 1966, p. 128. <<

[37] E. L. Jones, *The European Miracle: Environments, Economies, and Geopolitics in the History of Europe and Asia*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987², cap. 3 (hay trad. cast., *El milagro europeo: economía y geopolítica en la historia de Europa y Asia*, Alianza, Madrid, 1990). <<

[38] Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, cap. 11, sobre todo pp. 212-214. <<

[39] William H. McNeill, *Plagues and People*, Blackwell, Oxford, 1977, p. 102 (hay trad. cast., *Plagas y pueblos*, Siglo XXI, Madrid, 1984). <<

[⁴⁰] William H. McNeill, *Rise of the West*, University of Chicago Press, Chicago, 1963, cap. 7. Vid. también McNeill, «Confluence of the Civilized Disease Pools of Eurasia, 500 B. C. to A. D. 1200», cap. 3 de *Plagues and Peoples*; y Kenneth F. Kiple (ed.), *The Cambridge World History of Human Disease*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993. <<

[41] William McNeill, *Plagues and People*, p. 111. <<

[42] Kenneth F. Kiple, introducción a Kiple (ed.), *Cambridge World History of Human Disease*, p. 3. <<

[43] William McNeill, *Plagues and People*, p. 119. <<

[44] William McNeill, *Plagues and People*, pp. 116-129. <<

[45] Véase Henri J. M. Claessen y Peter Skalnik (eds.), *The Early State*, Mouton, La Haya, 1978. <<

[46] Las cifras de Taagepera figuran en William Eckhardt, «A Dialectical Evolutionary Theory of Civilizations, Empires, and Wars», en Stephen K. Sanderson (ed.), *Civilizations and World Systems: Studying World-Historical Change*, Altamira Press, Walnut Creek (California), 1995, pp. 80-81. El trabajo de Eckhardt se basa en gran medida en Rein Taagepera, «Size and Duration of Empires: Systematics of Size», *Social Science Research* 7 (1978), pp, 108-127. <<

[47] Thompson, «The Military Superiority Thesis», p. 172, que remite a Taagepera, «Expansión and Contraction Patterns of Large Polities». <<

[48] Véase un inteligente estudio de la religión en las civilizaciones primitivas en Bruce G. Trigger, *Early Civilizations: Ancient Egypt in Context*, American University in Cairo Press, El Cairo, 1993, cap. 4. <<

[49] Véase Karl Jaspers, *The origin and goal of History*, trad. inglesa, Yale University Press, New Haven, 1953, cap. 1 (hay trad. cast., *Origen y meta de la historia*, Alianza, Madrid, 1980). <<

[50] Citado en Christian, *A History of Russia, Central Asia, and Mongolia*, 1, p. 306.

<<

[51] Joel Mokyr, *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford University Press, Nueva York, 1990, p. 20 (hay trad. cast., *La palanca de la riqueza, creatividad tecnológica y progreso económico*, Alianza, Madrid, 1993). <<

[52] La fórmula clásica de Marx es la siguiente: «En todas las formas donde el trabajador mismo sigue siendo el “propietario” de los medios de producción y de las condiciones laborales imprescindibles para la producción de sus medios de subsistencia, las relaciones de propiedad se manifiestan al mismo tiempo como relaciones directas de dominio y servidumbre, y el productor directo aparece por lo tanto como un individuo sin libertad, una falta de libertad que puede atenuarse progresivamente pasando de la servidumbre que debe trabajar por ley a una simple obligación tributaria. [...] En estas condiciones sólo se les podrá arrancar la fuerza de trabajo excedente para el propietario nominal por medios coactivos extraeconómicos que pueden adoptar múltiples formas». (Karl Marx, *Capital: A Critique of Political Economy*, trad. inglesa, vol. 3, Penguin, Harmondsworth, 1981, p. 926; hay trad. cast., *El capital*, vol. 3, Folio, Barcelona, 1997). <<

[53] M. I. Finley, «Empire in the Greco-Roman World», *Greece and Rome*, 2.^a serie, 25, n.^o 1 (abril de 1978), p. 1. Véase un interesante análisis de los «beneficios» de la conquista en G. D. Snooks, *The Dynamic Society: Exploring the Sources of Global Change*, Routledge, Londres, 1996, cap. 10. <<

[54] M. I. Finley, *The Ancient Economy*, Chatto and Windus, Londres, 1973 (hay trad. cast., *La economía de la antigüedad*, FCE, México, 2003³), defiende la tesis de que la maximización de los beneficios no fue una de las principales preocupaciones de los gobernantes de la era clásica. <<

[55] Niccolò Machiavelli, *The Prince*, trad. inglesa, Penguin, Harmondsworth, 1961, pp. 87-88 (trad. cast. tomada de Nicolás Maquiavelo, *El príncipe*, trad. de Miguel Ángel Granada, Materiales, Barcelona, 1979, pp. 144 y 145-46). <<

[56] Nizam al-Mulk, *The Book of Government, or Rules for Kings*, trad. inglesa, Routledge, Londres, 1978², pp. 131-132; el autor francés se cita en C. Warren Hollister, *Medieval Europe: A Short History*, Nueva York, 1982⁵, p. 163. <<

[57] R. Bin Wong, *China Transformed: Historical Change and the Limits of European Experience*, Cornell University Press, Ithaca (Nueva York), 1997, pp. 129 y 134. <<

[58] Mokyr, *The Lever of Riches*, p. 175. <<

[59] Esta sinergia es parecida pero no idéntica al tipo de crecimiento que Adam Smith relacionaba con el aumento de los intercambios; Smith se concentraba en los beneficios de la productividad que generaba el aumento de la especialización, la cual, a su vez, era posible gracias al crecimiento de los mercados. <<

[60] Los datos de este párrafo proceden de Stephen K. Sanderson, «Expanding World Commercialization: The Link Between World Systems and Civilizations», en Sanderson (ed.), *Civilizations and World Systems*, p. 267. <<

[61] Remitiéndose a las ideas de Max Weber, Anthony Giddens define el intercambio económico como «todo acuerdo libre en el que se ofrece un producto o servicio existente o futuro a cambio de otro u otros». (*The Nation-State and Violence*, vol. 2 de *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Polity Press, Cambridge, 1985, pp. 123-124. <<

[62] William H. McNeill, *The Pursuit of Power: Technology, Armed Forces, and Society Since A.D. 1000*, Blackwell, Oxford, 1982, p. 5. <<

[63] Véase un breve resumen de la era helenística en Stanley M. Burstein, «The Hellenistic Period in World History», en Adas (ed.), *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, pp. 275-307. <<

[⁶⁴] María Eugenia Aubet, *Phoenicians and the West: Politics, Colonies, and Trade*, trad. inglesa, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, pp. 85-87 (original en castellano, *Tiro y las colonias fenicias de Occidente*, Ediciones Bellaterra, Barcelona, 1987; edición ampliada y actualizada en Crítica, Barcelona, 1997); citado en Snooks, *The Dynamic Society*, p. 345. <<

[65] William McNeill, *Pursuit of Power*, pp. 22-23, habla de archivos cuneiformes anatólicos de 1800 a. C. con correspondencia de comerciantes de estaño que empleaban caravanas de asnos. <<

[66] Knapp, *The History and Culture of Ancient Western Asia and Egypt*, pp. 141-143.

<<

[67] Knapp, *The History and Culture of Ancient Western Asia and Egypt*, pp. 95, 142; Valerie Hansen, *The Open Empire: A History of China to 1600*, W. W. Norton, Nueva Yok, 2000, p. 92. <<

[68] Christian, «Silk Roads or Steppe Roads?». <<

[⁶⁹] Mokyr, *The Lever of Riches*, p. 26. <<

[⁷⁰] Wong, *China Transformed*, pp. 45-46 y 90. <<

[⁷¹] Giddens, *The Nation-State and Violence*, pp. 40-41, 79-81. <<

[72] Dice William McNeill de la contribución de la Grecia clásica al arte de la guerra: «No fue una casualidad que el principal período de invención de armas en el mundo mediterráneo antiguo coincidiera con los siglos en que los gobernantes enfrentados aplicaban los principios del comercio a la movilización militar» (*Pursuit of Power*, p. 70). <<

[1] Anthony Giddens, *The Nation-State and Violence*, vol. 2 de *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Polity Press, Cambridge, 1985, p. 33. <<

[2] Hay una persuasiva defensa de la importancia planetaria de esta transformación en J. R. McNeill, *Something New under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*, W. W. Norton, Nueva York, 2000. <<

[3] Eric R. Wolf, *Europe and the People Without History*, University of California Press, Berkeley, 1982, pp. 24-72. Para un recorrido parecido por el año 1000 d. C., véase la magnífica obra de John Man, *Atlas of the Year 1000*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1999. <<

[4] Wolf, *Europe and the People without History*, p. 71. <<

[5] Brian M. Fagan, *People of the Earth: An Introduction to World Prehistory*, Prentice Hall, Upper Saddle River (Nueva Jersey), 2001¹⁰, p. 362. <<

[6] Wolf, *Europe and the People without History*, p. 42. <<

[7] Michael D. Coe, *Mexico: from the Olmecs to the Aztecs*, Thames and Hudson, Londres, 1994⁴, p. 158. <<

[8] Las mejores introducciones al pastoreo son Thomas J. Barfield, *The Nomadic Alternative*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (Nueva Jersey), 1993, y Anatoly M. Khazanov, *Nomads and the Outside World*, trad. inglesa, University of Wisconsin Press, Madison, 1994². <<

[9] Pseudo Hipócrates, «Airs, Waters, Places», citado según los *Hippocratic Writings*, trad. inglesa, Penguin, Harmondsworth, 1978, p. 163 (hay trad. cast., «Sobre aires, aguas y lugares», en *Tratados hipocráticos*, vol. II, Biblioteca Clásica Gredos, Madrid, 1993). <<

[¹⁰] Véase David Christian, *A History of Russia, Central Asia, and Mongolia*, vol. 1, *Inner Eurasia from Prehistory to the Mongol Empire*, Blackwell, Oxford, 1998. <<

[11] Christian, *A History of Russia, Central Asia, and Mongolia*, 1, pp. 85-94, 149-157, y cap. 8; Nicola di Cosmo, «State Formation and Periodization in Inner Asian History», *Journal of World History* 10, n.º 1 (primavera de 1999), pp. 1-40. <<

[12] Citado en Terence Armstrong, *Russian Settlement in the North*, Cambridge University Press, Cambridge, 1965, p. 36; y véase la magnífica historia de Siberia de James Forsyth, *A History of the Peoples of Siberia: Russia's North Asian Colony, 1581-1990*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992, sobre todo pp. 10-16. <<

[13] Wolf, *Europe and the People without History*, p. 65. <<

[¹⁴] Allen W. Johnson y Timothy Earle, *The Evolution of Human Societies*, Stanford University Press, Stanford, 2000, p. 9. <<

[15] Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution*, Allen and Unwin, Londres, 1987, p. 228. <<

[16] Carlo M. Cipolla, *The Economic History of World Population*, Penguin, Harmondsworth, 1974⁶, pp. 114-115 (hay trad. cast., *Historia económica de la población humana*, Crítica, Barcelona, 2000). <<

[17] David S. Landes, *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*, Cambridge University Press, Londres, 1969, p. 6 (hay trad. cast., *Progreso tecnológico y revolución industrial*, Tecnos, Madrid, 1979). <<

[18] Joel Mokyr, *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford University Press, Nueva York, 1990, p. 99. <<

[19] E. A. Wrigley, *Continuity, Chance, and Change: The Character of the Industrial Revolution in England*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988, pp. 54-55 (hay trad. cast., *Cambio, continuidad y azar: carácter de la revolución industrial inglesa*, Crítica, Barcelona, 1993). <<

[²⁰] McNeill, *Something New under the Sun*, pp. 14-15, y véase cap. 6. <<

[21] McNeill, *Something New under the Sun*, p. 15. <<

[22] Paul Bairoch, *Cities and Economic Development: from the Dawn of History to the Present*, trad. inglesa, University of Chicago Press, Chicago, 1988, p. 513. <<

[23] Véase un excelente análisis de la aparición del tiempo de los relojes en Norbert Elias, *Time: An Essay*, trad. inglesa, Blackwell, Oxford, 1992 (hay trad. cast., *Sobre el tiempo*, FCE, Madrid, 1989); Elias sostiene que la causa principal de la creciente precisión y generalización de la organización moderna del tiempo es la necesidad de coordinar redes de dependencia de complejidad creciente. <<

[24] Charles Tilly, *Coercion, Capital, and European States, AD 990-1992*, Blackwell, Cambridge (Massachusetts), 1992 (ed. corregida), p. 69: como dice Tilly, Estados Unidos es hoy una excepción relativa a la regla de que los estados modernos monopolizan los mecanismos de la violencia (p. 68). <<

[25] Norbert Elias, *The Civilizing Process*, vol. 1, *The History of Manners*, trad. inglesa, Pantheon, Nueva York, 1978, p. 186. <<

[26] David T. Courtwright, *Forces of Habit: Drugs and the Making of the Modern World*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 2002. <<

[27] Para el concepto de lugar en las cosmologías premodernas véase el enjundioso y sugerente estudio de Tony Swain, *A Place for Strangers: Towards a History of Australian Aboriginal Being*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993. <<

[28] Algunos historiadores han empezado a abordarlos hace poco: véase R. Bin Wong, *China Transformed: Historical Change and the Limits of European Experience*, Cornell University Press, Ithaca (Nueva York), 1997; Kenneth Pomeranz, *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*, Princeton University Press, Princeton, 2000; y Andre Gunder Frank, *ReOrient: Global Economy in the Asian Age*, University of California Press, Berkeley, 1998. Véase también un elegante resumen de esta cuestión en Robert B. Marks, *The Origins of the Modern World: A Global and Ecological Narrative*, Rowman and Littlefield, Lanham (Maryland), 2002. <<

[29] Hay un estupendo y breve repaso a estas polémicas sobre la modernidad en Craig Lockard, «Global Historians and the Great Divergence», *World History Bulletin* 17, n.º 1 (otoño de 2000), pp. 17, 32-34. <<

[³⁰] Mokyr, *The lever of riches*, p. 148. <<

[31] Daniel Headrick, «Technological Change», en B. L. Turner II y otros (eds.), *The Earth Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, p. 59. <<

[32] Véase un excelente resumen de las teorías sobre el desarrollo en J. L. Anderson, *Explaining Long-Term Economic Change*, Macmillan, Basingstoke, 1991; y véase el resumen de Mokyr, *The Lever of Riches*, cap. 7 («Understanding technological progress»). <<

[33] Véase, por ejemplo, Ester Boserup, *Population and Technology*, Blackwell, Oxford, 1981. <<

[34] Aunque la escasez de madera no fue en China tan aguda como en Gran Bretaña; véase el estado de la cuestión en Pomeranz, *The Great Divergence*, pp. 220-236. <<

[35] La importancia del carbón se subraya sobre todo en Wrigley, *Continuity, Chance, and Change*, y en Pomeranz, *The Great Divergence*. También los factores geográficos tienen gran protagonismo en los influyentes trabajos de E. J. Jones, *The European Miracle: Environments, Economies, and Geopolitics in the History of Europe and Asia*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987², y *Growth Recurring: Economic Change in World History*, Clarendon, Oxford, 1988 (hay trad. cast., *Crecimiento recurrente: el cambio económico en la historia mundial*, Alianza, Madrid, 1997). <<

[36] Mokyr, *The lever of riches*, p. 162. <<

[37] T. S. Ashton, citado en Gary Hawke, «Reinterpretations of the industrial revolution», en Patrick O'Brien y Roland Quinault (eds.), *The Industrial Revolution and British Society*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, p. 55. <<

[38] Véase T. S. Ashton, *The Industrial Revolution, 1760-1830*, Oxford University Press, Londres, 1948 (hay trad. cast., *La revolución industrial: 1760-1830*, FCE, México, 1973). <<

[39] Max Weber, *The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism*, trad. inglesa de Talcott Parsons, Scribners, Nueva York, 1930, reimpreso en 1958 (hay trad. cast., *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*, Península, Barcelona, 2001¹⁸). <<

[40] Véase una inteligente reelaboración de la tesis de que las ideas fueron un primer motor de importancia en la revolución moderna en Margaret Jacob, *Scientific Culture and the Making of the Industrial West*, Oxford University Press, Nueva York, 1997. Utilizaré la tesis de Jacob en la capítulo 12. <<

[41] Adam Smith, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Modern Library, Nueva York, 1937⁵, pp. 1, 13 (hay trad. cast., *Investigación de la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, 3 vols., Orbis, Barcelona, 1985).

<<

[42] Véase Mokyr, The *Lever of Riches*, p. 5: «El crecimiento económico causado por el aumento del comercio podría denominarse *crecimiento smithiano*». <<

[43] Frank, *ReOrient*, pp. 173, 166. Para los niveles de productividad en China, véanse también Pomeranz, *The Great Divergence*, y Wong, *China Transformed*. Para un punto de vista diferente, que sostiene que la superioridad económica europea se remonta al siglo xv, véase Angus Maddison, *The World Economy: A Millennial Perspective*, OECD, París, 2001 (hay trad. cast., *La economía mundial: una perspectiva milenaria*, EDCE, Madrid, 2002). <<

[44] Véase Wolf, *Europe and the People without History*, cap. 3. <<

[45] Anthony Giddens, *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Macmillan, Basingstoke, 1995², p. 1. Que yo reproduzca este pasaje suyo no significa que esté de acuerdo con toda su crítica de Marx, aunque sí lo estoy con su intención de salvar todo lo que siga teniendo valor en Marx. Fernand Braudel ha dicho asimismo que los modelos sociales de Marx, enfocados con menos rigidez y más matizadamente, aún tienen un gran valor para los historiadores; véase Braudel, «History and Social Sciences», en *On History*, trad. inglesa, University of Chicago Press, Chicago, 1980, p. 51. <<

[46] Daniel C. Dennett, *Consciousness Explained*, Penguin, Londres, 1993, p. 204 (hay trad. cast., *La conciencia explicada: una teoría interdisciplinar*, Paidós, Barcelona, 1995), habla de los *memes* como si fueran entidades que invaden el cerebro humano igual que los parásitos. Fue Richard Dawkins quien inventó el término en la primera edición de *The Selfish Gene*, Oxford University Press, Oxford, 1976 (hay trad. cast., *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 2004⁶), para referirse a toda información intelectual o cultural que puede pasar de una persona a otra por imitación. Susan Blackmore, *The Meme Machine*, Oxford University Press, Oxford, 1999 (hay trad. cast., *La máquina de los memes*, Paidós, Barcelona, 2000), analiza a conciencia los «memes» y sus limitaciones. <<

[47] Pomeranz, *The Great Divergence*; Wong, *China Transformed*. <<

[48] Para esta tesis sobre la acumulación véase Pomeranz, *The Great Divergence*. <<

[49] Ralph Davis, *The Rise of the Atlantic Economies*, Cornell University Press, Ithaca (Nueva York), 1973 (hay trad. cast., *La Europa atlántica*, Siglo XXI, México, 1976), sigue siendo uno de los mejores títulos sobre la historia económica de la nueva región axial. <<

[50] Andrew Sherratt, al igual que Marx, ha destacado la trascendencia económica de la cambiante topología de las redes globales de intercambio: «Con la concentración de capital posibilitada por una región de afluencia tan grande, cuyos puntos nodales unían rutas que partían de todos los continentes, se pudieron hacer unas inversiones en maquinaria, disciplina laboral y concentración demográfica que permitieron producir valor añadido a otra escala» (Sherratt, «Reviving the Grand Narrative: Archaeology and Long-Term Change», *Journal of European Archaeology* 3, n.º 1 [1995], p. 21). Estas tesis son interesantes y conocidas, pero las nuevas redes de información podrían tener una trascendencia equivalente a la hora de explicar los cambiantes índices de innovación. <<

[51] Wong, *China Transformed*, p. 151. <<

Epígrafe: Tim Flannery, *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People*, Reed, Chatswood (Nueva Gales del Sur), 1995, p. 334.

[1] El mejor estudio sobre las ventajas ecológicas de los afroeuroasiáticos y su comitiva de plantas, animales e insectos es Alfred W. Crosby, *Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900-1900*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986 (hay trad. cast., *Imperialismo ecológico: la expansión biológica de Europa, 900-1900*, Crítica, Barcelona, 1999). <<

[2] Crosby, *Ecological Imperialism*, p. 200. <<

[3] Véanse, por ejemplo, Kenneth Pomeranz, *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of Modern World Economy*, Princeton University Press, Princeton, 2000; André Gunder Frank, *ReOrient: Global Economy in the Asian Age*, University of California Press, Berkeley, 1998; y R. Bin Wong, *China Transformed: Historical Change and the Limits of the European Experience*, Cornell University Press, Ithaca (Nueva York), 1997. <<

[4] Adam Smith, citado en Frank, *ReOrient*, p. 13. <<

[5] Marshall G. S. Hodgson, «The Great Western Transmutation», en su *Rethinking World History: Essays on Europe, Islam, and World History*, ed. preparada por Edmund Burke III, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, p. 47. <<

[6] Valerie Hansen, *The Open Empire: A History of China to 1600*, W. W. Norton, Nueva York, 2000, p. 263. <<

[7] Asa Briggs, *A Social History of England*, Penguin, Harmondsworth, 1987, pp. 74-75 (hay trad. cast., *Historia social de Inglaterra*, Alianza, Madrid, 1994). <<

[8] Paul Bairoch, *Cities and Economic Development: From the Dawn of History to the Present*, trad. inglesa, University of Chicago Press, Chicago, 1988, p. 159. <<

[9] Citado en W. Barthold, *Turkestan down to the Mongol Invasion*, trad. inglesa, E. J. W. Gibb Memorial Trust, Londres, 1977, pp. 103-104. <<

[¹⁰] Mark Elvin, *The Pattern of the Chinese Past*, Stanford University Press, Stanford, 1973, p. 177. <<

[11] Janet Abu-Lughod, *Before European Hegemony: The World System, A. D. 1250-1350*, Oxford University Press, Nueva York, 1989, pp. 337-339. <<

[12] Janet Abu-Lughod, *Before European Hegemony*, p. 331, donde remite a Jacques Gernet, *Daily Life in China on the Eve of the Mongol Invasion, 1250-1276*, trad. inglesa, Allen and Unwin, Londres, 1962, p. 87. <<

[13] Elvin, *The Pattern of the Chinese Past*, p. 177. <<

[14] Citado en Elvin, *The Pattern of the Chinese Past*, p. 169. <<

[15] Carlo M. Cipolla, *Before the Industrial Revolution: European Society and Economy, 1000-1700*, Methuen, Londres, 1981, p. 143. Véase también Robert S. Lopez, *The Commercial Revolution of the Middle Ages, 950-1350*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (Nueva Jersey), 1971. <<

[16] Abu-Lughod, *Before European Hegemony*. <<

[17] Thomas T. Allsen, *Culture and Conquest in Mongol Eurasia*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001, trata de los intercambios entre China y la Persia Ilján a finales del siglo XIII y principios del XIV. <<

[18] Los viajes de Ibn Battuta se describen en el clásico de Ross E. Dunn, *The Adventures of Ibn Battuta: A Muslim Traveler of the Fourteenth Century*, University of California Press, Berkeley, 1989. <<

[19] El estudio básico sobre estas redes comerciales y sobre las redes de comerciantes que dependían de ellas es Philip Curtin, *Cross-Cultural Trade in World History*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983. <<

[20] Andrew W. Watson, *Agricultural Innovation in the Early Islamic World: The Diffusion of Crops and Farming Techniques, 700-1100*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983 (hay trad. cast., *Innovaciones en la agricultura en los primeros tiempos del mundo islámico: difusión de los distintos cultivos y técnicas agrícolas del año 700 al 1100*, Universidad de Granada, Granada, 1998). <<

[21] Véase Wong, *China Transformed*. <<

[22] Lynda Shaffer, «Southernization», en Michael Adas (ed.), *Agricultural and Pastoral Societies in Ancient and Classical History*, Temple University Press, Filadelfia, 2001, pp. 308-324; inicialmente publicado en *Journal of World History* 5, n.º 1 (primavera de 1994), pp. 1-21. <<

[23] Citado en Shaffer, «Southernization», p. 312. Véase también James E. McClellan III y Harold Dorn, *Science and Technology in World History: An Introduction*, John Hopkins University Press, Baltimore, 1999, pp. 145-154. <<

[24] Shaffer, «Southernization», p. 316. <<

[25] Thomas A. Brady, «Rise of Merchant Empires, 1400-1700: A European Counterpoint», en James D. Tracy (ed.), *The Political Economy of Merchant Empires: State Power and World Trade, 1350-1750*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991, p. 150. <<

[26] Citado en Cipolla, *Before the Industrial Revolution*, p. 148. <<

[27] Hansen, *The Open Empire*, p. 135. <<

[28] Citado en Elvin, *Pattern of the Chinese Past*, p. 164. <<

[29] Así se expresaba Chao Cuo, a principios del siglo II a. C., citado en Elvin, *Pattern of the Chinese Past*, p. 164. <<

[³⁰] S. A. M. Adshead, *China in World History*, Macmillan, Basignstoke, 1995², p. 117. <<

[31] Archibald R. Lewis, *Nomads and Crusaders, A. D. 1000-1360*, Indiana University Press, Bloomington, 1991, pp. 109, 130, 161. Según Wong, es posible que, en ocasiones, los ingresos procedentes del comercio en la época Song fueran más de la mitad de los ingresos totales del gobierno (*China Transformed*, p. 95). <<

[32] Sobre las técnicas de construcción naval en China véase Arnold Pacey, *Technology in World Civilization*, MIT Press, Cambridge (Massachusetts), 1990, pp. 65-66. <<

[33] Hansen, *The Open Empire*, p. 266. <<

[34] Elvin, *Pattern of Chinese Past*, p. 118. Véase un excelente resumen del crecimiento económico en la época de los Song en Abu-Lughod, *Before European Hegemony*, cap. 10. <<

[35] Hansen, *The Open Empire*, p. 264. <<

[36] J. R. McNeill, *Something New under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*, W. W. Norton, Nueva York, 2000, p. 56; McNeill añade que en el gráfico preindustrial hubo otro pico parecido tras la introducción de las monedas de cobre en el Mediterráneo en el primer milenio a. C. <<

[37] Elvin, *Pattern of Chinese Past*, p. 88; Pacey, *Technology in World Civilization*, p. 47. <<

[38] Pacey, *Technology in World Civilization*, pp. 24-26. <<

[39] Hansen, *The Open Empire*, pp. 266-267 y 270-272. <<

[40] Véase Joseph Needham, *Science and Civilization in China*, 7 vols., Cambridge University Press, Cambridge, 1954-2003. <<

[41] Wong, *China Transformed*, p. 131. <<

[42] Véase una buena descripción, muy accesible, de estos viajes en Louise Levathes, *When China Ruled the Seas: The Treasure Fleet of the Dragon Throne, 1405-1433*, Simon and Schuster, Nueva York, 1994. <<

[43] Karl Marx, *Capital: A Critique of Political Economy*, trad. inglesa, vol. 1, Penguin, Harmondsworth, 1976, parte 2, p. 247 (primer párrafo). Es frecuente en la historiografía marxista la idea de que la creación de un mercado mundial fue fundamental para la aparición de la modernidad. Véase Immanuel Wallerstein, «World-system», en Tom Bottomore (ed.), *A Dictionary of Marxist Thought*, Blackwell, Oxford, 1991², pp. 590-591 (hay trad. cast., *Diccionario del pensamiento marxista*, Tecnos, Madrid, 1984). <<

[44] Como han señalado Dennis O. Flynn y Arturo Giráldez, un sistema global de intercambios en sentido estricto no existió hasta 1571, año en que se tendió también un puente sobre el Pacífico y comenzó el comercio regular entre América y Filipinas. Véase Flynn y Giráldez, «Cycles of Silver: Global Economic Unity through the Mid-Eighteenth Century», *Journal of World History* 13, n.º 2 (otoño de 2002), p. 393. <<

[45] Como introducción a estas importantísimas afluencias de plata véanse dos artículos de Dennis O. Flynn y Arturo Giráldez, «Born with a “Silver Spoon”: The Origin of World Trade in 1571», *Journal of World History* 6, n.º 2 (otoño de 1995), pp. 201-221, y «Cycles of silver». <<

[46] Véase, por ejemplo, la sucinta descripción de la transmisión de las enfermedades en las zonas mundiales de Massimo Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, trad. inglesa, Blackwell, Oxford, 1992, pp. 50-56. <<

[47] Basado en cifras de Angus Maddison, *The World Economy: A Millennial Perspective*, UNESCO, París, 2001, p. 235. Hay mucha polémica sobre las cifras demográficas precolombinas y por lo tanto sobre el correspondiente descenso de la población en el siglo XVI. Las estimaciones de este descenso en México, por fijarnos sólo en este caso, oscilan entre el 15 y el 90 por ciento. Las cifras de la tabla 11.1 (procedentes de J. R. Biraben, «Essai sur l'Évolution du nombre des hommes», *Population* 34 [1979], p. 16) dan a entender que la población de América central y meridional descendió alrededor del 75 por ciento entre 1500 y 1600, pasando de unos 39 millones a unos 10. Según las estimaciones de Angus Maddison, más conservadoras, la población iberoamericana descendió alrededor del 50 por ciento, pasando de unos 17,5 millones a alrededor de 8,6; las estimaciones de Woodrow Borah y Sherburne F. Cook son más antiguas (*The Aboriginal Population of Central Mexico on the Eve of Spanish Conquest*, University of California Press, Berkeley, 1963) y sugieren que la población citada pudo haber sido de unos 100 millones en 1500 y que el descenso pudo haber estado entre el 90 y el 95 por ciento. Véase el estado de la cuestión en Maddison, *The World Economy*, pp. 233-236, y Livi-Bacci, *A Concise History of World Population*, pp. 50-56. Doy las gracias a Bruce Castleman por algunas de las referencias citadas. <<

[48] Citado en Alfred W. Crosby, *The Columbian Exchange: Biological and Cultural Consequences of 1942*, Greenwood Press, Westport (Connecticut), 1972, p. 36 (hay trad. cast., *El intercambio transoceánico*, UNAM, México, 1991). <<

[49] Thomas Hariot, citado en Crosby, *The Columbian Exchange*, pp. 40-41 [y tomado de David B. Quinn (ed.), *The Roanoke Voyages, 1584-1590*, 2 vols., Hakluyt Society, Londres, 1955, 1, p. 387]. <<

[50] Crosby, en *Ecological Imperialism*, llama forja de «neoeuropeos» a este proceso de colonización. <<

[51] Crosby, *The Columbian Exchange*, p. 170. <<

[52] Crosby, *The Columbian Exchange*, p. 199. <<

[53] Frank, *ReOrient*, p. 60. <<

[54] Joel Mokyr, *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford University Press, Nueva York, 1990, p. 70. <<

[55] Crosby, *The Columbian Exchange*, pp. 185 y 199-201. <<

[56] Véase un repaso de los índices de innovación en Mokyr, *The Lever of Riches*, cap. 4 <<

[57] Peter N. Stearns, *The Industrial Revolution in World History*, Westview Press, Boulder (Colorado), 1993, p. 18. <<

[58] Frank, *ReOrient*, pp. 168, 172. <<

[59] Frank, *ReOrient*, p. 166. <<

[60] Curtin, *Cross-Cultural Trade*, p. 149. <<

[61] Pomeranz, *The Great Divergence*, sobre todo caps. 1, 2 y 3. <<

[62] Wong, *China Transformed*, p. 17. <<

[⁶³] Pomeranz, *The Great Divergence*, sostiene una tesis parecida. <<

[⁶⁴] En Eric R. Wolf, *Europe and the People without History*, University of California Press, Berkeley, 1982, hay una buena descripción de estos procesos de intercambio comercial en el caso concreto del tráfico de pieles en América del Norte. <<

[65] David Christian, *Living Water: Vodka and Russian Society on the Eve of Emancipation*, Clarendon, Oxford, 1990, pp. 33 y 383-388. <<

[66] Elvin, *Pattern of the Chinese Past*, p. 167. <<

[67] Wong, *China Tranformed*, p. 45. <<

[68] Citado en John Bushnell, *Mutiny Amid Repression: Russian Soldiers in the Revolution of 1905-1906*, Indiana University Press, Bloomington, 1985, p. 180. <<

[69] Para Europa en el papel de intermediaria véase Frank, *ReOrient*. <<

[⁷⁰] Andrew Sherratt, «Reviving the Grand Narrative: Archaeology and Longterm Change», *Journal of European Archaeology* 3, n.^o 1 (1995), p. 13. <<

[⁷¹] Sherratt, «Reviving the Grand Narrative», p. 21. <<

[72] Christopher Chase-Dunn y Thomas D. Hall han estudiado asimismo el papel característico desempeñado por las regiones «semiperiféricas» en la historia a largo plazo de las civilizaciones agrarias; véase Chase-Dunn y Hall, *Rise and Demise: Comparing World Systems*, Westview Press, Boulder (Colorado), 1997, cap. 5. <<

[73] Wong, *China Transformed*, p. 129. <<

[⁷⁴] Para las innovaciones europeas en la Edad Media véase Mokyr, *The Lever of Riches*, pp. 31-56. <<

[75] Margaret Jacob, *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution*, Temple University Press, Filadelfia, 1988, p. 109. <<

[⁷⁶] Sherratt, «Reviving the Grand Narrative», p. 25. <<

[77] Steven Shapin, *The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1996, pp. 79-80 (hay trad. cast., *La revolución científica: una interpretación alternativa*, Paidós, Barcelona, 2000). <<

[⁷⁸] Frank, *ReOrient*, p. 256: «La semejanza estructural de mongoles y europeos es que ambas poblaciones estaban en zonas (semi)marginales o periféricas y fueron atraídas e hicieron incursiones en las zonas y economías “centrales”, que estaban sobre todo en Asia oriental y en segundo término en Asia occidental». <<

[79] La historia se cuenta en Dava Sobel, *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Walker, Nueva York, 1995. Para el papel de los estados europeos en el tema de la innovación tecnológica véase también Mokyr, *The Lever of Riches*, pp. 78-79 (hay trad. cast., *Longitud: la verdadera historia de un genio solitario que resolvió el mayor problema científico de su tiempo*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1999). <<

[80] Charles Loyseau, *Traité des ordres* (1613), citado en Henry Kamen, *European Society, 1500-1700*, Hutchinson, Londres, 1984, p. 99 (hay trad. cast., *La sociedad europea, 1500-1700*, Alianza, Madrid, 1986). <<

[81] Charles Tilly, *Coercion, Capital, and European States, AD 990-1992*, Blackwell, Cambridge (Massachusetts), 1992 (ed. corregida), p. 30; todo el libro gira alrededor de la diferencia entre las tres vías hacia el estado nacional moderno. <<

[82] Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, p. 14 y cap. 3. <<

[83] Conversación citada en Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, p. 128. <<

[84] Nicola di Cosmo, «European technology and Manchu power: reflections on the “military revolution” in seventeenth century China», ponencia presentada en el Congreso Internacional de Ciencias Históricas, Oslo, agosto de 2000. <<

[85] Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, p. 29. <<

[86] Robert de Balsac, citado en Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, p. 84.

<<

[87] Véase Geoffrey Parker, *The Military Revolution: Military Innovation and the Rise of the West, 1500-1800*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996² (hay trad. cast., *La revolución militar y apogeo de occidente, 1500-1800*, Alianza, Madrid, 2002), y William H. McNeill, *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society Since A. D. 1000*, Blackwell, Oxford, 1982. <<

[88] Elvin, *Pattern of the Chinese Past*, p. 88; Pacey, *Technology in World Civilization*, p. 47. <<

[89] Christian, *Living Water*, pp. 5, 383, 385; a finales del siglo XVIII, los ingresos procedentes de los impuestos sobre el vodka cubrían por lo general el 50-60 por ciento de los gastos de la defensa; en el siglo XIX representaban por término medio alrededor del 70 por ciento del presupuesto defensivo. <<

[90] Catharina Lis y Hugo Soly, *Poverty and Capitalism in Pre-Industrial Europe*, trad. inglesa, Humanities Press, Atlantic Highlands (Nueva Jersey), 1979, p. 15 (hay trad. cast., *Pobreza y capitalismo en la Europa Preindustrial*, Akal, Torrejón de Ardoz, 1982²). <<

[91] Maxine Berg, *The Age of Manufactures, 1700-1820: Industry, Innovation, and work in Britain*, Routledge, Londres, 1994², pp. 98-99. <<

[92] Berg, *The Age of Manufactures*, p. 99, donde remite a Keith Wrightson, *English society, 1580-1680*, Hutchinson, Londres, 1982, p. 139 (hay trad. cast., *La era de las manufacturas*, Crítica, Barcelona, 1987). <<

[93] George Huppert, *After the Black Death: A Social History of Early Modern Europe*, Indiana University Press, Bloomington, 1986, p. 72. <<

[94] David Christian, «Accumulation and Accumulators: the Metaphor Marx Muffed», *Science and society* 54, n.º 2 (verano de 1990), pp. 219-224. <<

[95] Marx dijo en *El capital*: «La acumulación de riqueza en un polo representa por lo tanto acumulación de sufrimiento, tortura del trabajo manual, esclavitud, ignorancia, embrutecimiento y degradación moral en el otro polo, es decir, en la clase que produce su propio producto en forma de capital». (*Capital*, ed. inglesa cit., vol. 1, p. 799, capítulo 25: «La ley general de la acumulación capitalista»). <<

[96] Marx describe gráficamente el impacto de la «plusvalía absoluta» en *El capital*, vol 1, parte 3; véase asimismo Jan de Vries, «The Industrial Revolution and the Industrious Revolution», *Journal of Economic History* 54, n.º 2 (junio de 1994), 149-170. <<

[97] Karl Marx, *Grundrisse: Foundations of the Critique of Political Economy*, trad. inglesa, Penguin, Harmondsworth, 1973, p. 463 (hay trad. cast., *Grundrisse: lineamientos fundamentales para la crítica de la economía política: 1857-1858*, 2 vols., FCE, México, 1985). <<

[98] N. F. R. Crafts, *British Economic Growth during the Industrial Revolution*, Clarendon, Oxford, 1985, pp. 13-14, para la proporción dedicada a la agricultura en 1688; Lis y Soly, *Poverty and Capitalism*, p. 100, para el cálculo de la cantidad de tierra en propiedad. <<

[99] Peter Mathias, *The First Industrial Nation: An Economic History of Britain, 1700-1914*, Methuen, Londres, 1983², p. 26. <<

[100] Crafts, *British Economic Growth*, pp. 13-14. <<

[101] Mathias, *The First Industrial Nation*, p. 29. <<

[102] Huppert, *After the Black Death*, p. 59. <<

[103] Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, p. 17. <<

[1] Daniel R. Headrick, *The Tools of Empire: Technology and European Imperialism in the Nineteenth Century*, Oxford University Press, Nueva York, 1981, p. 3 (hay trad. cast., *Los instrumentos del imperio*, Alianza, Madrid, 1989). <<

[2] Patrick O'Brien, «Introduction: Modern Conceptions of the Industrial Revolution», en Patrick O'Brien y Roland Quinault (eds.), *The Industrial Revolution and British Society*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, p. 2; para el «punitillismo» histórico véase p. 5. Vid. asimismo R. Bin Wong, *China Transformed: Historical Change and the Limits of European Experience*, Cornell University Press, Ithaca (Nueva York), 1997, p. 279: «Se ha invertido mucho esfuerzo en minimizar la ruptura que supuso la Revolución Industrial. Pero el mundo de las posibilidades materiales sufrió una profunda transformación entre 1780 y 1880. En ningún siglo anterior hubo cambios parecidos». <<

[3] Que la prioridad hizo atípica a Gran Bretaña fue, por ejemplo, la tesis que sostuvo Alexander Gerschenkron en sus innovadores estudios comparados sobre la industrialización: *Economic Backwardness in Historical Perspective, a Book of Essays*, Harvard University Press y Belknap Press, Cambridge (Massachusetts), 1962 (hay trad. cast., *El atraso económico en su perspectiva histórica*, Ariel, Barcelona, 1968). <<

[4] Patrick O'Brien y Caglar Keyder, *Economic Growth in Britain and France, 1780-1914: Two Paths to the Twentieth Century*, Allen and Unwin, Londres, 1978, p. 196. <<

[5] Gary Hawke, «Reinterpretations of the Industrial Revolution», en O'Brien y Quinault (eds.), *The Industrial Revolution and British Society*, p. 54. <<

[6] N. R. F. Crafts, *British Economic Growth during the Industrial Revolution*, Clarendon, Oxford, 1985, p. 115. <<

[7] Para ver algunos ejemplos de explotación de descubrimientos tecnológicos ajenos véase Joel Mokyr, *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford University Press, Nueva York, 1990, pp. 100-109 (hay trad. cast., *La palanca de la riqueza*, Alianza, Madrid, 1993). <<

[8] Véase Patrick O'Brien, «Political Preconditions for the Industrial Revolution», en O'Brien y Quinault (eds.), *The Industrial Revolution and British Society*, pp. 124-155. <<

[9] Catharina Lis y Hugo Soly, *Poverty and Capitalism in Pre-Industrial Europe*, trad. inglesa, Humanities Press, Atlantic Highlands (Nueva Jersey), 1979, p. 108 (hay trad. cast., *Pobreza y capitalismo en la Europa Preindustrial*, Akal, Madrid, 1982²). <<

[¹⁰] Citas tomadas de Lis y Soly, *Poverty and Capitalism*, p. 108; investigación basada en cálculos de Gregory King, tomada de Crafts, *British Economic Growth*, p. 13. <<

[11] Cifras de Gregory King, resumidas en Lis y Soly, *Poverty and Capitalism*, p. 111.

<<

[12] Crafts, *British Economic Growth*, pp. 13, 16. <<

[13] W. G. Hoskins, *The Midland Peasant: The Economic and Social History of a Leicestershire Village*, Macmillan, Londres, 1965, p. 269; citado en Maxine Berg, *The Age of Manufactures, 1700-1820: Industry, Innovation, and Work in Britain*, Routledge, Londres, 1994², p. 85 (hay trad. cast., *La era de las manufacturas*, Crítica, Barcelona, 1987). <<

[14] Asa Briggs, *A Social History of England*, Penguin, Harmondsworth, 1987², p. 206 (hay trad. cast., *Historia social de Inglaterra*, Alianza, Madrid, 1994). <<

[15] Berg, *The age of Manufactures*, p. 80. <<

[¹⁶] E. J. Hobsbawm, *Industry and Empire*, Penguin, Harmondsworth, 1969, pp. 28-29 (hay trad. cast., *Industria e imperio*, Crítica, Barcelona, 2001). <<

[17] Crafts, *British Economic Growth*, pp. 62-63. <<

[18] Crafts, *British Economic Growth*, pp. 62, 121. <<

[19] Crafts, para la productividad total durante el siglo XVIII, da índices de crecimiento anual del 0,2-0,3 por 100, con un aumento hasta el 0,7 por 100 en 1801-1830 y hasta el 1 por 100 en 1831-1860 (*British Economic Growth*, pp. 2, 76-77, 81). <<

[20] James E. McClellan III y Harold Dorn, *Science and Technology in World History: An Introduction*, John Hopkins University Press, Baltimore, 1999, p. 279. <<

[21] Arnold Pacey, *Technology in World Civilization*, MIT, Cambridge (Massachusetts), 1990, p. 113. <<

[22] McClellan y Dorn, *Science and Technology*, pp. 280-281. <<

[23] Mokyr, *The Lever of riches*, pp. 84-85. <<

[24] Véase en Mokyr, *The Lever of Riches*, pp. 96-98, descripciones más detalladas de estos instrumentos. <<

[25] Mokyr, *The Lever of Riches*, p. 111. <<

[26] Véase el análisis del sistema fabril de Anthony Giddens, *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Macmillan, Basingstoke, 1995², pp. 124-125. <<

[27] Tanto Marx como Weber destacaron la importancia de las experiencias de los ejércitos modernos en la preparación del sistema fabril, como señala Giddens (*A Contemporary Critique of Historical Materialism*, p. 125). <<

[28] Pacey, *Technology in World Civilization*, pp. 106, 117-119. <<

[29] Joseph Needham, *Clerks and Craftsmen in China and the West*, Cambridge University Press, Cambridge, 1970, p. 202; citado en George Basalla, *The Evolution of Technology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988, p. 40 (hay trad. cast., *La evolución de la tecnología*, Crítica, Barcelona, 1991). <<

[³⁰] Peter Mathias, *The First Industrial Nation: An Economic History of Britain, 1700-1914*, Methuen, Londres, 1983², pp. 124-125; y véase McClellan y Dorn, *Science and Technology*, pp. 287-289. <<

[31] Margaret Jacob ha señalado acertadamente la trascendencia indirecta de la difusión del conocimiento científico en *Scientific Culture and the Making of the Industrial West*, Oxford University Press, Nueva York, 1997; y Mokyr ha destacado la creatividad de algunos ingenieros concretos (*The Lever of Riches*, pp. 111-112). <<

[32] Hobsbawm, *Industry and Empire*, pp. 50-51. <<

[33] James Watt, citado en Mokyr, *The Lever of Riches*, p. 87. <<

[34] Charles Tilly, *Coercion, Capital, and European States, AD 990-1992*, Blackwell, Cambridge (Massachusetts), 1992 (ed. corregida), p. 96 (hay trad. cast., *Coerción, capital y los europeos: 900-1990*, Alianza, Madrid, 1991). <<

[35] Véase Charles Tilly, «How War Made States, and Vice Versa», cap. 3 de *Coercion, Capital, and European States*. <<

[36] Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, pp. 103-104. <<

[37] Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, pp. 106-107. <<

[38] Anthony Giddens, *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, y *The Nation-State and Violence*, vol. 2 de *A Contemporary Critique of Historical Materialism*, Polity Press, Cambridge, 1985, pássim. Giddens toma el término *vigilancia* de Michel Foucault. <<

[39] Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, p. 110. <<

[40] Giddens, *The Nation-State and Violence*, p. 152. <<

[41] La protección de los bosques reales frente a los cazadores furtivos es el hilo principal de E. P. Thompson, *Whigs and Hunters: The Origin of Black Act*, Allen Lane, Londres, 1975; el de *The Making of the English Working Class*, Victor Gollancz, Londres, 1968, es la defensa de la propiedad empresarial frente al radicalismo obrero. <<

[42] Karl Polyani, *The Great Transformation: The Political and Economic Origins of our Time*, Beacon, Boston, 1957. <<

[43] Véase la gráfica descripción de los intercambios en las madrazas en John Merson, *Roads to Xanadu: East and West in the Making of the Modern World*, Child and Associates, French's Forest (Nueva Gales del Sur), 1989, pp. 83 ss. <<

[⁴⁴] Merson reproduce completa una carta de Leonardo al duque de Milán en la que enumera los inventos militares que puede poner a su servicio (*Roads to Xanadu*, p. 70). <<

[45] Jacob, *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution*, p. 211. <<

[46] Crafts, *British Economic Growth*, p. 98. <<

[47] Mokyr, *The Lever of Riches*, pp. 134-135. <<

[48] Gershenkron, *Economic Backwardness in Historical Perspective*. <<

[49] Véase un buen resumen de la industrialización en Daniel R. Headrick, «Technological Change», en B. L. Turner II y otros (eds.), *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, pp. 55-67. <<

[50] Véase una tipología de distintas unidades modernas de producción en Richard Barff, «Multinational Corporations and the New International Division of Labour», en R. J. Johnston, Peter J. Taylor y Michael J. Watts (eds.), *Geographies of Global Change: Remapping the World in the Late Twentieth Century*, Blackwell, Oxford, 1995, p. 51. <<

[51] Véase, por ejemplo, Mike Davies, *Late Victorian Holocausts: El Niño Famines and the Making of the Third World*, Verso, Londres, 2001, p. 51. <<

[52] Davies, *Late Victorian Holocausts*, p. 16; y véase cap. 9. <<

[53] Davies, *Late Victorian Holocausts*, p. 115 y pássim. <<

[54] Lo he expuesto más detalladamente en David Christian, *Imperial and Soviet Russia: Power, Privilege, and the Challenge of Modernity*, Macmillan, Basingstoke, 1997. <<

Epígrafe: Yehudi Menuhin, citado en E. J. Hobsbawm, *The Age of Extremes*, Weidenfeld and Nicolson, Londres, 1994, p. 2 (hay trad. cast., *Historia del siglo XX*, Crítica, Barcelona, 2003⁶), tomado de Paola Agosti y Giovanna Borgese, *Mi pare un secolo: ritratti e parole di centosei protagonisti del novecento*, Turín, 1992.

[1] J. R. McNeill, *Something New under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*, W. W. Norton, Nueva York, 2000, p. 4. <<

[2] Robert Wright, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Random House, Nueva York, 2000, p. 51. <<

[3] D. J. Bradley, citado en Andrew Cliff y Peter Haggett, «Disease Implications of Global Change», en R. J. Johnston, Peter J. Taylor y Michael J. Watts (eds.), *Geographies of Global Change: Remapping the World in the Late Twentieth Century*, Blackwell, Oxford, 1995, pp. 206-223, datos en p. 207, gráfica en p. 208. <<

[4] Walter Benjamin, «Theses on the Philosophy of History», en *Illuminations*, edición de Hannah Arendt, trad. inglesa, Jonathan Cape, Londres, 1970, tesis IX, pp. 259-260 (trad. cast. tomada de «Tesis de filosofía de la historia», en *Angelus Novus*, Edhasa, Barcelona, 1971, p. 82). <<

[5] Hobsbawm habla de la «ruptura de los vínculos entre las generaciones o, lo que es lo mismo, entre el pasado y el presente» (*Age of Extremes*, p. 15). <<

[6] Robert W. Kates, B. L. Turner II y William C. Clark, «The Great Transformation», en B. L. Turner II *et al.* (eds.), *The Earth Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, p. 111. <<

[7] La información de este párrafo se basa en Lester R. Brown y otros, *State of the World, 1999: A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society*, Earthscan Publications, Londres, 1999, pp. 115-116 (hay trad. cast., *El estado del mundo, 1999*, Icaria, Barcelona, 1999). <<

[8] Aquí prosigo con la periodización de Daniel R. Headrick, «Technological Change», en Turner *et al.*, *The Earth as Transformed by Human Action*, pp. 55-67.

<<

[9] Richard Barff, «Multinational Corporations and the New International Division of Labor», en Johnston, Taylor y Watts (eds.), *Geographies of Global Change*, p. 51. <<

[¹⁰] Manuel Castells expone su tesis en los tres volúmenes de *The Information Age: Economy, Society and Culture*, Blackwell, Oxford: vol 1, *The Rise of the Network Society*, 1996, vol. 2, *The Power of Identity*, 1997, y vol. 3, *End of Millennium*, 1998 (hay trad. cast., *La era de la información: economía, sociedad y cultura*, 3 vols., Alianza, Madrid, 1997-1998). <<

[11] Headrick, «Technological Change», p. 59. <<

[12] Brown y otros, *State of the World, 1999*, gráf. p. 10. <<

[13] Estas observaciones sobre los cambios en el cuerpo humano se han basado en las investigaciones de Richard y Lee Meadows Jantz, de la Universidad de Tennessee en Knoxville, y que se citan en J. Stambaugh, «Human Bodies have Changed since 1800s, Study Shows», *San Diego Union-Tribune*, 22 de diciembre de 2001, p. A21.

<<

[14] Susan Christopherson, «Changing Women's Status in a Global Economy», en Johnston, Taylor y Watts (eds.), *Geographies of Global Change*, p. 202. Véase un resumen de estos cambios en la condición social de las mujeres en Hobsbawm, *Age of Extremes*, pp. 310-319. <<

[15] Brown y otros, *State of the World, 1999*, p. 10. <<

[16] Lester R. Brown y otros, *State of the World, 1995: A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society*, Earthscan Publications, Londres, 1995, p. 176 (hay trad. cast., *El estado del mundo, 1995*, Salamandra, Barcelona, 1995). <<

[¹⁷] Paul Kennedy, *Preparing for the Twenty-First Century*, Fontana, Londres, 1994, p. 215. <<

[18] Brown y otros, *State of the World, 1999*, p. 10. <<

[19] Paul Harrison, *Inside the Third World: The Anatomy of Poverty*, Penguin, Harmondsworth, 1981, p. 261. <<

[20] Brown y otros, *State of the World, 1999*, p. 11. <<

[21] *Encyclopaedia Britannica CD 9. Multimedia Edition*, Encyclopedia Britannica y Britannica Centre, Chicago, 1994-1997, s. v. «Urbanization». <<

[22] Hobsbawm, *The Age of Extremes*, p. 289; en sentido más general, véanse pp. 289-291. <<

[23] Harrison, *Inside the Third World*, p. 67. <<

[24] Brown y otros, *State of the World, 1995*, p. 12. <<

[25] Citado en Immanuel C. Y. Hsü, *The Rise of Modern China*, Oxford University Press, Nueva York, 1975², p. 213. <<

[26] Citado en Arnold Pacey, *Technology in World Civilization*, MIT Press, Cambridge (Massachusetts), 1990, p. 143. Véase también David T. Courtwright, *Forces of Habit: Drugs and the Making of the Modern World*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 2002, pp. 31-36. <<

[27] He desarrollado esta tesis en *Imperial and Soviet Russia: Power, Privilege, and the Challenge of Modernity*, Macmillan, Basingstoke, 1997. <<

[28] Robert Lewis, «Technology and the Transformation of the Soviet Economy», en R. W. Davies, Mark Harrison y S. G. Wheatcroft (eds.), *The Economic Transformation of the Soviet Union, 1913-1945*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994, pp. 182-197; información tomada de la p. 194 (y véase tabla 41 en p. 310). <<

[29] Mijail Gorbachov, *Perestroika: New Thinking for our Country and the World*, Harper and Row, Nueva York, 1987, pp. 18-19. <<

[30] Véanse también las gráficas de Charles Tilly, *Coercion, Capital, and European States, AD 990-1992*, Blackwell, Cambridge (Massachusetts), 1992, p. 73, con las bajas de los estados europeos. <<

[31] Brown y otros, *State of the World, 1999*, pp. 154-155. <<

[32] Tilly, *Coercion, Capital, and European States*, p. 67. <<

[33] Brown y otros, *State of the World, 1999*, pp. 155-156. <<

[³⁴] Brown y otros, *State of the World, 1999*, pp. 159, 163. <<

[35] John F. Richards, «Editorial Introduction», en Turner y otros (eds.), *The Earth as Transformed by Human Action*, p. 21. <<

[36] Lester R. Brown y otros, *Vital Signs, 1998-99: The Trends that Are Shaping our Future*, Earthscan, Londres, 1998, p. 128. <<

[37] Los organismos marinos son el testimonio más completo y en consecuencia más exacto de estos cambios; véase Richard Leakey y Roger Lewin, *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind*, Doubleday, Nueva York, 1995, p. 45.

<<

[38] Brown y otros, *State of the World, 1999*, pp. 116-117, 123. <<

[39] Lester R. Brown, *Eco-Economy: Building an Economy for the Earth*, W. W. Norton, Nueva York, 2001, p. 93. <<

[⁴⁰] Kennedy, *Preparing for the Twenty-First Century*, p. 112. En 2001, la población del archipiélago de Tuvalu, un estado independiente del Pacífico, abandonó las islas a causa de la subida del nivel del agua. <<

[41] Brown y otros, *State of the World, 1999*, p. 11. <<

[42] Brown y otros, *State of the World, 1999*, p. 116. <<

[43] Kates, Turner y Clark, «The Great Transformation», p. 12. <<

Epígrafes: Murray Gell-Mann, «Transitions to a More Sustainable World», en Yorick Blumenfeld (ed.), *Scanning the Future: Twenty Eminent Thinkers on the World of Tomorrow*, Thames and Hudson, Londres, 1999, p. 79; Paul Harrison, *The Third Revolution: Population, Environment and a Sustainable World*, Penguin, Londres, 1993, p. 149; Platón, *Critias*, 111 c-d y 111b (trad. cast. tomada de *Critias o la Atlántida*, Aguilar, Madrid, 1975, pp. 38-39).

[1] Este ejemplo y la distinción entre estas dos clases de impredecibilidad proceden de Ricard Solé y Brian Goodwin, *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology*, Basic Books, Nueva York, 2000, cap. 1. <<

[2] Solé y Goodwin, *Signs of Life*, p. 20. <<

[3] Peter N. Stearns, *Millennium III, century XXI: A Retrospective on the Future*, Westview Press, Boulder (Colorado), 1996, p. 158. <<

[4] R. G. Collingwood, *The Idea of History*, Oxford University Press, Nueva York, 1956, p. 54, citado en John Lewis Gaddis, *The Landscape of History: how Historians Map the Past*, Oxford University Press, Oxford, 2002, p. 58 (hay trad. cast.: Collingwood, *Idea de la historia*, FCE, México, 1989 [reimp.], y Gaddis, *El paisaje de la historia. Cómo los historiadores representan el pasado*, Anagrama, Barcelona, 2004). <<

[5] Véase Yorick Blumenfeld, introducción a Blumenfeld (ed.), *Scanning the Future*, pp. 7-23. Véanse también Herman Kahn, *On Thermonuclear War*, Princeton University Press, Princeton, 1960, y Donella H. Meadows y otros, *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, Universe Books, Nueva York, 1972 (hay trad. cast., *Más allá de los límites del crecimiento*, Aguilar, Madrid, 1994³). Véase un reciente resumen de las posibilidades más aterradoras que nos esperan en Martin Rees, *Our Final Hour: A Scientist's Warning: How Terror, Error, and Environmental Disaster Threaten Humankind's Future in this Century on Earth and Beyond*, Basic Books, Nueva York, 2003 (hay trad. cast., *Nuestra hora final*, Crítica, Barcelona, 2003). <<

[6] Clive Ponting, *A Green History of the World*, Penguin, Harmondsworth, 1992 (hay trad. cast., *Historia verde del mundo*, Paidós, Barcelona, 1992). <<

[7] Citado en J. R. McNeill, *Something New under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*, W. W. Norton, Nueva York, 2000, p. 350. <<

[8] Uno de los mejores planteamientos del problema de construir una economía sostenible es Lester R. Brown, *Eco-Economy: Building an Economy for the Earth*, W. W. Norton, Nueva York, 2001 (trad. cast., *Eco-economía*, Hecer, Barcelona, 2004); véase también el breve comentario de Gell-Mann, «Transition to a More Sustainable World», pp. 61-79. <<

[9] Lester R. Brown y Jennifer Mitchell, «Building a New Economy», en Lester R. Brown y otros, *State of the World, 1998: A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society*, Earthscan Publications, Londres, 1998, p. 174 (hay trad. cast., *El estado del mundo*, FCE, México, 1998). <<

[¹⁰] Gareth Porter, Janet Welsh Brown y Pamela S. Chasek, *Global Environmental Politics*, Westview Press, Boulder (Colorado), 2000³, pp. 87-93. <<

[11] Lester R. Brown y otros, *State of the World, 1995: A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society*, Earthscan Publications, Londres, 1995, p. 172 (hay trad. cast., *El estado del mundo: 1995*, Salamandra, Barcelona, 1995). <<

[12] Stearns, *Millennium III, Century XXI*, p. 74. <<

[13] Nikos Prantzos, *Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, pp. 56, 73; para los planes de la terrificación de Marte véanse pp. 75-80. <<

[14] Para los viajes interestelares véase Prantzos, *Our Cosmic Future*, cap. 2. <<

[15] Citado en Blumenfeld (ed.), introducción a *Scanning the Future*, p. 19. <<

[16] Pueden verse algunas de las posibilidades de la ingeniería genética en la fascinante historia del futuro de Brian Stableford y David Langford, *The Third Millennium: A History of the World, AD 2000-3000*, Sidgwick y Jackson, Londres, 1985. <<

[¹⁷] Prantzos, *Our Cosmic Future*, pp. 162-169; como señala este autor (p. 164), la pregunta de Fermi la había formulado ya Fontenelle en el siglo XVIII. Para conocer un juicio más optimista sobre la existencia de vida inteligente en otros puntos del universo véase Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: From big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, pp. 236-244. <<

[18] Prantzos, *Our Cosmic Future*, pp. 209 ss. <<

[19] Prantzos, *Our Cosmic Future*, p. 214. <<

[20] Prantzos, *Our Cosmic Future*, pp. 225-229. <<

[21] La idea de la creación cíclica del universo fue planteada por primera vez por el físico John Wheeler; véase Ken Croswell, *The Alchemy of the Heavens*, Oxford University Press, Oxford, 1996, p. 216; Stephen Hawking flirteó hace tiempo con la idea de que la flecha del tiempo podía invertirse en la fase de contracción, al invertirse la segunda ley de la termodinámica, pero acabó desestimándola por errónea; véase *A Brief History of Time: from big bang to Black Holes*, Bantam, Nueva York, 1988, pp. 150-151. <<

[22] Prantzos, *Our Cosmic Future*, p. 263. <<

[23] Paul Davies, *The Last Three Minutes*, Phoenix, Londres, 1995, pp. 98-99. <<

[24] La imagen de la primavera cósmica procede de Arthur C. Clarke, *Profiles of the Future* (1962), citado en Prantzos, *Our Cosmic Future*, p. 225. <<

[1] Hay buenos resúmenes de las técnicas de datación modernas en Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: from big bang to the Emergence of Life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, p. 285; Neil Roberts, *The Holocene: An Environmental History*, Blackwell, Oxford, 1998², cap. 2; y Nigel Calder, *Timescale: An Atlas of the Fourth Dimension*, Chatto and Windus, Londres, 1983. <<

[2] Los isótopos tienen la misma cantidad de protones, pero distinta cantidad de neutrones. Así, C¹⁴ es inestable, pero C¹³ y C¹² no, a pesar de lo cual todos tienen 6 protones (y esto es lo que los define como átomos de carbono); C¹² y C¹³ representan el 98,9 por 100 y el 1,1 por 100, respectivamente, de todos los átomos de carbono existentes, mientras que de C¹⁴ hay sólo cantidades diminutas. <<

[3] Véase Roberts, *The Holocene*, pp. 11-25, donde describe la evolución de los métodos de datación con el radiocarbono. <<

[4] Nyanatiloka, *Buddhist Dictionary: Manual of Buddhist Terms and Doctrines*, Frewin, Colombo (Ceilán), 1972³, artículo «Kappa». La metáfora de la montaña que se gasta está muy extendida, ya que la misma fuente cita, bajo el mismo epígrafe, un cuento de los hermanos Grimm que dice: «En la lejana Pomerania se alza la montaña de diamante, que tiene una hora de altura, una hora de anchura y una hora de longitud. Cada trescientos años llega un pajarito y se afila el pico en ella. Cuando esta montaña se gaste, habrá finalizado el primer segundo de la eternidad». <<

[1] Esta tesis sobre las pautas depende en gran medida de dos intentos recientes de identificar pautas a diferentes escalas macrohistóricas: Fred Spier, *The Structure of Big History: From the big bang until Today*, Amsterdam University Press, Amsterdam, 1996, y Eric J. Chaisson, *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 2001. Estos títulos, a su vez, deben mucho a los planteamientos innovadores de Erwin Schrödinger, *What is Life?* (1944), en *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992 (hay trad. cast., *¿Qué es la vida?*, Tusquets, Barcelona, 2001⁵). Para la aparición de la complejidad véase Ilya Prigogine e Isabelle Stengers, *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*, Heinemann, Londres, 1984; Paul Davies, *The Cosmic Blueprint*, Unwin, Londres, 1989 (hay trad. cast., *Proyecto cósmico*, Pirámide, Madrid, 1989); Ricard Solé y Brian Goodwin, *Signs of Life: How Complexity Pervades Biology*, Basic Books, Nueva York, 2000; Stuart Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity*, Viking, Londres, 1995; y Roger Lewin, *Complexity: Life on the Edge of Chaos*, Phoenix, Londres, 1993 (hay trad. cast., *Complejidad, el caos como generador del orden*, Busquets, Barcelona, 2002). <<

[2] «La entropía define la cantidad de energía no utilizable; la entropía no disminuye nunca en un sistema cerrado» (Armand Delsemme, *Our Cosmic Origins: from big bang to the Emergence of life and Intelligence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998, pp. 299-300). Sin embargo, los indicios de última hora de que la velocidad de expansión del universo está aumentando podría desautorizar esta idea si, como digo más abajo en el texto, la expansión es por sí sola una fuente de entropía negativa o *negentropía*; véase Nikos Prantzos, *Our Cosmic Future: Humanity's Fate in the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, pp. XI, 241-242. <<

[3] Véase un caso reciente donde se expone la posibilidad del orden en Roger Penrose, *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*, Vintage, Londres, 1990 (hay trad. cast., *La nueva mente del emperador*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1996); Chaisson, *Cosmic Evolution*; y Martin Rees, *Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*, Basic Books, Nueva York, 2000 (hay trad. cast., *Seis números nada más*, Debate, Barcelona, 2001); Prantzos, *Our cosmic future*, pp. 239-242. <<

[4] Davies, *The Cosmic Blueprint*, p. 119. <<

[5] Prantzos, *Our Cosmic Future*, p. 241. <<

[6] Esta idea de la complejidad es de Rod Swenson, tal como aparece resumida en Lynn Margulis y Dorion Sagan, *What is Life?*, University of California Press, Berkeley, 1995, p. 16 (hay trad. cast., *¿Qué es la vida?*, Busquets, Barcelona, 1996). Véase también Delsemme, *Our Cosmic Origins*, p. 300: «Los organismos vivos pueden reducir su entropía porque pueden expulsar al mundo exterior la energía no aprovechable». <<

[7] Véase Prigogine y Stengers, *Order out of Chaos*. <<

[8] El ejemplo de la palabra *universo* se ha inspirado en Hubert Reeves, Joël de Rosnay, Yves Coppens y Dominique Simonnet, *Origins: Cosmos, Earth, and Mankind*, trad. inglesa, Arcade Publishing, Nueva York, 1998, p. 35, donde Reeves compara el «caldo primitivo» del naciente universo con la sopa de letras; el ejemplo del agua procede de Solé y Godwin, *Signs of Life*, p. 13. <<