

Jorge Lobo

# *La base de la Ecología*



LIBROS

PENTHALON

## ENFOCANDO EL ASUNTO

El término Ecología está actualmente en boca de todo el mundo. Sin apenas conocer los fundamentos y las fronteras de esta ciencia, cada vez un mayor número de personas tienen el convencimiento de que el mundo en el que vivimos es el resultado de la interacción de muchos factores, no todos controlados, y de que las decisiones económicas y políticas que definen nuestro actual modo de vida, pueden estar influyendo sobre nuestro futuro inmediato como especie. Este sentimiento empapa paulatinamente la cultura de nuestras sociedades y, tal vez, constituya uno de los rasgos fundamentales de nuestro tiempo.

La presión de diversas corrientes sociales organizadas y el alcance universal de los medios de comunicación, nos ha revelado la existencia de peligros reales que atañen a todos los seres vivos del planeta, incluidos nosotros mismos. Sabemos que están desapareciendo los bosques tropicales y templados, que hay un agujero en la capa de ozono o que se incrementa la temperatura del planeta. Se han formado comités, sociedades, partidos políticos, ministerios y organizaciones de ámbito mundial, con una rapidez y extensión posiblemente nunca vistas anteriormente en la historia de la humanidad. Incluso las estructuras económicas y políticas con mayor responsabilidad en la aparición de estos desajustes desean participar en esta corriente «ecológica» y, por razones de fondo o de

Diseño portada: Pilar Santos

© Acción Divulgativa, S. L.  
C/. Enrique Velasco, 40  
Teléf.: 437 48 09  
28038 MADRID

I.S.B.N.: 84-7955-055-4  
Depósito legal: M. 5.399-1993

Composición: PUBLIFOTO  
Abejuela, 17. 28047 Madrid  
Imprime: Gráficas COFAS, S. A.  
Callfresa, 8. Fuenlabrada (Madrid)

imagen, comienzan a destinar recursos para anticiparse a un posible colapso del sistema vigente.

La ciencia de la Ecología participa de este interés generalizado y sus resultado también generan a veces controversias, pero sus preguntas y planteamientos no se encaminan prioritariamente hacia la consecución de un sistema de gestión ideal del planeta o de un país. Este es un problema que tiene que enfocarse con otra perspectiva más amplia y que necesitará indudablemente de los conocimientos que procure la Ecología junto a otras disciplinas, pero sobre todo necesitará de una modificación posiblemente radical de nuestra visión acerca de la relación que mantenemos con la naturaleza y el modo de aprovechar y repartir sus recursos.

Para algunas personas conocedoras del tema, se trataría de un cambio en nuestro enfoque sobre la posición que mantenemos respecto al medio que nos rodea, similar al que ocurrió cuando descubrimos que la Tierra no era el centro del universo, o cuando supimos que evolucionamos a partir de un grupo de primates. Aunque parezca exagerado, tal vez la humanidad se encuentre cerca de una encrucijada del calibre de la aparición de la agricultura o la revolución industrial.

En este libro se facilitará alguna información acerca de las modificaciones ambientales originadas como consecuencia de la actuación humana. Aunque reveladores en ocasiones, se pretende que estos datos sirvan para que cada cual saque sus propias conclusiones, sin adentrarse excesivamente en la polémica entre una visión optimista o catastrofista, evitando, en la medida de lo posible, los pronunciamientos que impliquen juicios de valor o posturas en torno a la manera de construir nuestras sociedades. Por el contrario, el objetivo prioritario de este libro consiste en divulgar algunos de los conocimientos más comúnmente aceptados por la ciencia ecológica e intere-

sar sobre algunos de los interrogantes actuales más polémicos, dejando constancia de lo poco que sabemos en ocasiones. A veces parecerá que estos conocimientos están lejos de lo que corrientemente adscribimos con el término «ecológico», pero seguramente nos permitirán una comprensión más eficaz y completa del funcionamiento de la naturaleza. Podría ser una modesta manera de influir en la construcción de esa necesaria nueva percepción del mundo natural.

## COMENZAMOS

Organizar algunos conocimientos adquiridos y definir una ciencia con ellos es siempre una cuestión un poco arbitraria. Somos curiosos y delimitamos lo que conocemos en compartimentos según el objeto de nuestras investigaciones. Si nos interesa estudiar el movimiento de los cuerpos, decimos que nuestro campo de investigación es la mecánica, pero si esos cuerpos son seres vivos la ciencia resultante es denominada biomecánica y, en ese caso, incorporamos datos que proceden de otras disciplinas y que tienen que ver con el funcionamiento muscular, la resistencia de los huesos o el estudio comparado del movimiento en los animales. Es un hecho cada vez más frecuente, que las ciencias clásicas modifican su ámbito de investigación o generan otras nuevas, incorporando los conocimientos de disciplinas fronterizas. Pero, ¿cuál es el dominio de la Ecología?

Cuando a mediados del siglo pasado se definió por primera vez la Ecología como el estudio de las relaciones de los seres vivos entre sí y con su ambiente, hacía mucho que se habían recopilado conocimientos de este tipo. Así que una cosa es definir una ciencia y otra decidir cuando se iniciaron sus conocimientos.

Por ejemplo, hace unos 2.300 años la escuela de Aristóteles recopiló muchos datos referentes a las condiciones en las que vivían algunas plantas y animales. En los 2.000 años siguientes se realizaron otros tratados con

datos de este tipo, pero generalmente no aportaban mucha novedad y estaban más interesados por descubrir animales míticos y legendarios, fruto de la imaginación más que de la observación.

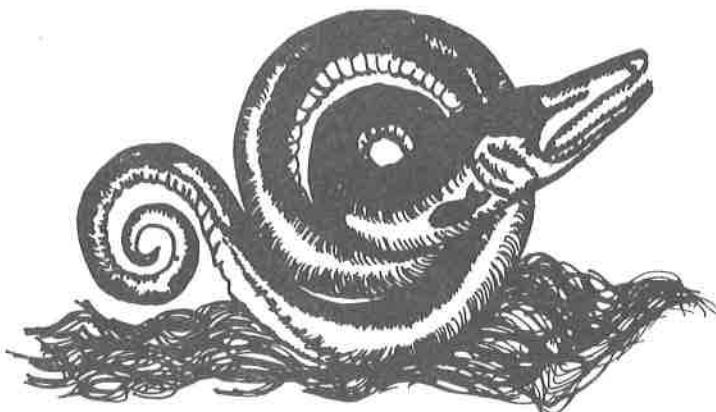


Fig. 1. *Hasta el siglo XVII la serpiente de mar era un animal legendario que se incluía en todos los tratados de Zoología.*

Tampoco se avanza mucho durante los siglos XV al XVII, en pleno Renacimiento e inicios de la revolución científica. Los estudios se centran en los fenómenos físicos y en ellos puede reconocerse una relación causa-efecto: el movimiento parabólico de los proyectiles es consecuencia de la interacción de fuerzas opuestas, una que impulsa el proyectil y otra que lo atrae hacia el suelo. Pero las características de los animales y las plantas siguen siendo otra cosa: «*Dios no los ha creado para dejarlos ociosos, sino que cada uno cumple su deber*».

En el siglo XVIII se abandona cada vez más la idea de una creación divina y los viajes y expediciones científicas, incrementan sustancialmente el número de especies conocidas y los datos sobre sus hábitos. Era necesario

idear un sistema de clasificación que permitiera ordenar el cada vez más numeroso conjunto de especies.

Con sangre roja	<b>Cuadrúpedos vivíparos</b> <b>Cuadrúpedos ovíparos:</b> reúne a los anfibios y los reptiles <b>Pájaros:</b> incluye los murciélagos <b>Peces:</b> reúne a los peces junto a las ballenas, los delfines o las focas <b>Serpientes y dragones:</b> aquí se incluyen todo tipo de seres fabulosos y míticos
Sin sangre roja	<b>Blandos:</b> reúne a los moluscos cepalópodos (pulpos o sepías) junto a algunos gusanos <b>Testáceos:</b> son animales con caparazón, o sea, los moluscos, también incluyen a los erizos de mar y algunos crustáceos <b>Crustáceos:</b> son los actuales crustáceos superiores como el cangrejo o la gamba <b>Insectos:</b> grupo heterogéneo. Aquí se incluyen los insectos junto a escorpiones, lombrices o estrellas de mar <b>Zoófitos:</b> mezcla heterogénea que incluye al resto de los organismos inclasificables para la época

Fig. 2. *Clasificación de los animales admitida durante el siglo XVII.*

Estas clasificaciones demostraban que entre los organismos existían similaridades, por lo que cada vez más esos sistemas de clasificación reflejaban verdaderas afinidades. La idea de una evolución de los seres vivos se hace cada vez más inevitable. Hasta ese momento, se mantenía que un ser vivo podía dar lugar a otro. Por ejemplo, se afirmaba en ocasiones que una mujer podía parir un conejo o que los mohos generaban algunos animales. Como reacción, se postuló que las especies permanecen inmutables y que los cruzamientos entre ellas sólo conducen a la esterilidad. Pero el reconocimiento de que dentro de cada especie existía una gran variabilidad y la experiencia producida por los cruces entre razas de

animales y plantas, hizo que cada vez más se pensara en una evolución de las especies. Para el abuelo de Darwin, todos los seres vivos procedían de un única antepasado y para Linneo, el creador del sistema de clasificación utilizado todavía actualmente, la cuestión era más dudosa: «*¿Son todas las especies hijas del tiempo? ¿O limitó el Creador desde el origen del mundo tal desarrollo a un determinado número de especies? No osaría yo pronunciarce con certeza sobre este punto.*»

Una manera no evolutiva de ver la naturaleza concede poca importancia al medio ambiente. Las especies son como son y viven en unos sitios o comen unos determinados alimentos desde la creación del mundo. Las relaciones con otras especies y las características abióticas (sin vida) que rodean a una especie, no influyen ni tienen nada que ver en la formación de las aptitudes que posee, ya que las especies han sido siempre las mismas y no cambian. Si estudias la ecología de una especie, es para saber lo que hace o dónde se encuentra, no para conocer qué es lo que ha hecho que sea de esa manera. No admitir la evolución es impedir que la naturaleza tenga causas: las cosas naturales son, pero no se hacen.

Durante el siglo XIX la evolución de las especies está bastante admitida y sólo se cuestiona cuál es su modo de operar. Antes de que Darwin propusiera en 1859 que las especies producían más descendientes de los que podían subsistir y que la selección de los individuos más aptos para un ambiente podía generar la aparición de nuevas especies, se pensaba erróneamente que las características de una especie se originaban y perfeccionaban como consecuencia de su uso.

De esta manera, por ejemplo, los cuernos de las cabras se formaban como consecuencia de sus peleas, porque los fluidos se dirigían con mayor fuerza hacia esa parte de la cabeza, lo que provocaba la secreción de sustancia córnea.

Además, esa capa córnea adquirida por un individuo en sus peleas se transmitía a su descendencia y así, poco a poco, se formaron los cuernos. Con esta falsa idea acerca del modo de operar de la evolución, los individuos de cualquier especie tienden a perfeccionarse según el medio en el que viven. Por ejemplo, si un ave vive en el agua puede tender a prolongar sus patas o un oso hormiguero puede tender a alargar su lengua, lo que les hace más aptos para vivir en las charcas o para comer hormigas. Esta manera de entender el funcionamiento de la evolución concedía más importancia al medio ambiente, pero su papel era pasivo. Las especies tendían a adaptarse al medio en el que vivían, pero eran ellas mismas las que lo hacían. El medio ambiente imponía las condiciones, pero el proceso evolutivo era obra de cada especie por separado.

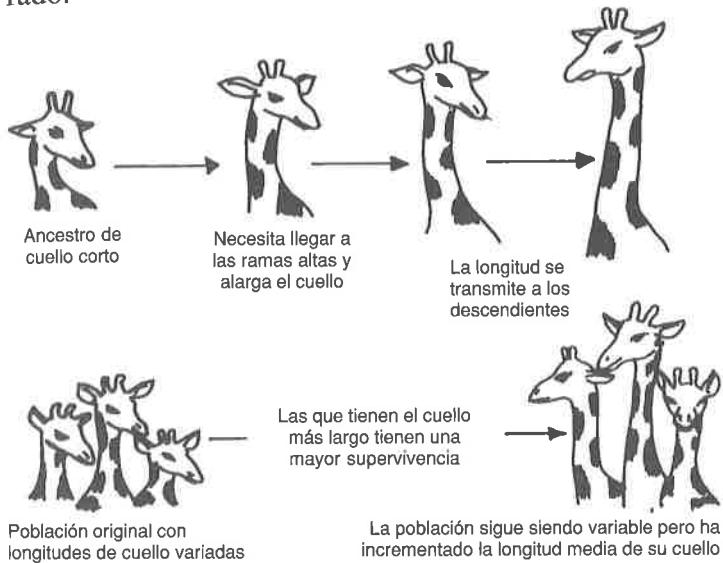


Fig. 3. *Falsa idea acerca del funcionamiento de la evolución (arriba) y modo de operar de la selección natural (abajo).*

La teoría de la evolución de las especies por selección natural cambia completamente el panorama y concede el papel principal al medio: él elige de entre la variedad de posibilidades de cada especie, la que resulta más apta. Las especies interactúan entre ellas. El medio, que está formado también por las propias especies, es el factor clave que decide quién sobrevive y quién no. El medio orienta el sentido de la evolución de cualquier especie. De este modo evolutivo, tienen que entenderse ahora las relaciones ecológicas y de esta forma, la Ecología se ha convertido en una ciencia básica, a la hora de aclarar las innumerables cuestiones pendientes acerca del funcionamiento de la Naturaleza.

En el último tercio del siglo pasado, con el pensamiento evolutivo introducido firmemente entre los naturalistas, comienza la moderna Ecología. Los medios acuáticos o la vegetación fueron los principales objetivos de estudio en esos primeros tiempos, ya que las relaciones entre los factores abióticos (clima, suelo, etc.) y los seres vivos, son bastante más evidentes en esos casos. No es extraño, de este modo, que los primeros ecólogos fueran botánicos.

Desde entonces, muchas disciplinas ayudaron al desarrollo de la Ecología. Las grandes intervenciones del hombre sobre la naturaleza, constituyeron enormes experimentos. El estudio detallado de la agricultura llevó a entender los ciclos de nutrientes. Los registros prolongados de las capturas de pesca o caza, constituyeron excelentes ejemplos de las relaciones demográficas entre una presa y su depredador. También los registros de las muertes y los nacimientos humanos fueron utilizados. Por ellos se reconoció que la población no puede aumentar indefinidamente, debido a que el ambiente y la cantidad de los recursos no lo permiten. Esta cuestión, que puede parecer banal, ha sido de gran transcendencia: ayudó a que Darwin comprendiera que el medio ambiente selecciona-

ba sólo una parte del total de los individuos nacidos y propició las primeras nociones sobre la competencia. En fin, muchas disciplinas científicas alejadas han influido con sus resultados en la Ecología. Una vez más, puede comprobarse que los dominios de la Ecología son inciertos y fronterizos, como corresponde a una ciencia ambigua y de síntesis.

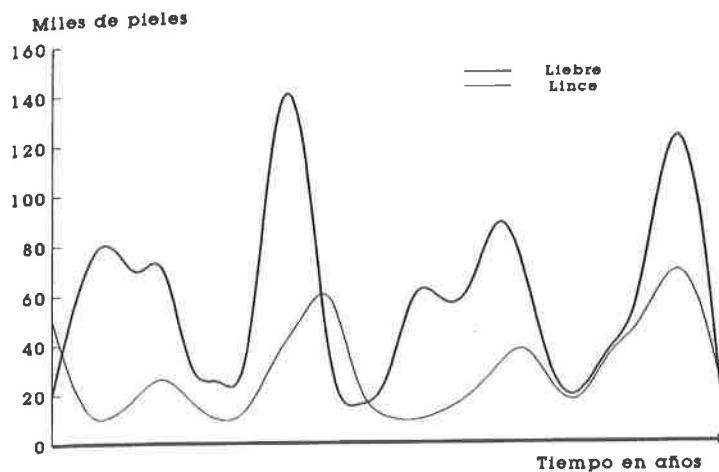


Fig. 4. Oscilación de las capturas de pieles de linces y liebres en Canadá durante 40 años.

## LOS DOMINIOS DE LA ECOLOGIA

Como se ha comentado antes, el término Ecología fue acuñado a mediados del siglo pasado, hace apenas 125 años, y se refería al estudio de las relaciones entre los seres vivos y su ambiente. Hasta ese momento, prácticamente lo único que se hace es recopilar observaciones que hoy podrían incluirse dentro de otras ramas próximas de la Biología. Se realizan estudios acerca de la influencia de algunas características del medio, como la luz o la temperatura (Fisiología), pero también se investiga sobre el comportamiento de los seres vivos (Etología) o sobre la distribución de animales y plantas en distintos territorios (Biogeografía).

En Ecología hay que tener en cuenta muchos factores a la vez y es necesario considerar muchos conocimientos que proceden de otras disciplinas como la química, la geología, la oceanografía, la climatología, la zoología, la antropología, etc. Además hay que estudiar las relaciones entre los seres vivos y el medio a varias escalas: individuos, poblaciones y comunidades de poblaciones. Nos interesa saber cuáles son las reacciones de un sólo individuo ante las variaciones del medio, pero también las relaciones que se dan entre individuos semejantes (competencia, predación, etc.), las propiedades y el modo en el que se comportan las poblaciones de esos individuos, o las

cualidades comunes de los innumerables conjuntos de poblaciones diferentes que se dan al cohabitar distintas especies.

Por si fuera poco, en Ecología se trata de dar cuenta de situaciones y hechos actuales, pero el motivo que los generó pudo haber ocurrido en el pasado. Es difícil, de este modo, establecer en ocasiones una relación causa-efecto debido al componente histórico e irrepetible que aporta la evolución de las especies. Todos los seres vivos son el resultado de la acción de la evolución y una adaptación a unas condiciones del pasado, puede parecernos ahora carente de sentido. Un órgano adaptado a una finalidad concreta, puede ser el punto de partida para «construir» uno nuevo. Las aletas de los animales marinos tienen como función principal estabilizar en el agua un cuerpo aerodinámico. Sin embargo, a partir de ellas se han generado los miembros que permiten la locomoción terrestre. Son el origen de las patas de las ranas, los lagartos, las aves o cualquier mamífero.

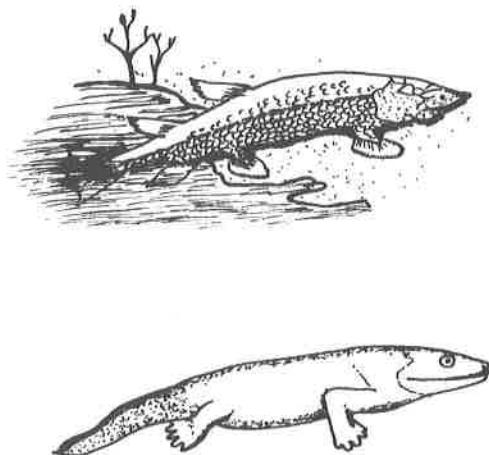


Fig. 5. Pez celacanto de hace unos 350 millones de años saliendo a tierra y forma de transición entre pez y anfibio.

También muchas de las características de una comunidad o de una población, pueden no tener una explicación examinando las condiciones actuales en las que subsisten. Las montañas tropicales suelen poseer una fauna y una flora muy empobrecida. Aunque en los trópicos se incrementa notablemente el número de especies respecto a las regiones templadas, la riqueza de algunas zonas montañosas tropicales es mucho menor que en las regiones templadas. ¿Por qué?

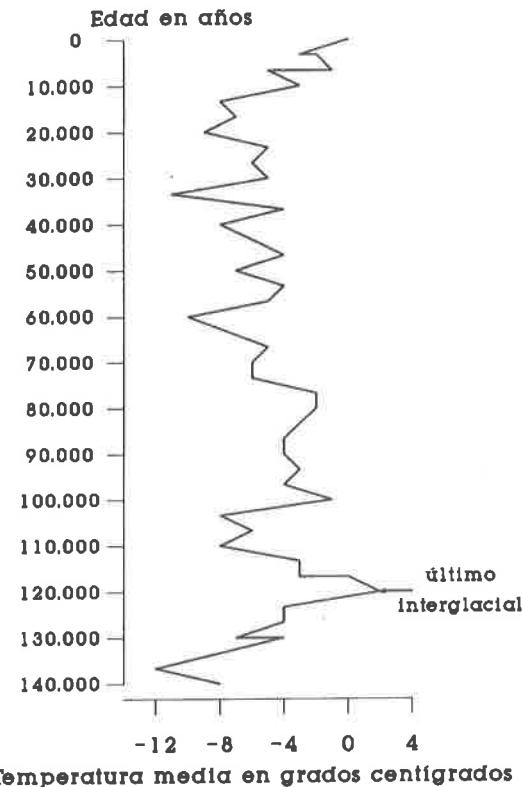


Fig. 6. Oscilación aproximada de la temperatura ambiental media en Europa durante los últimos 140.000 años.

Una explicación verosímil podría estar relacionada con las mezclas de seres vivos de diferentes regiones, que se produjeron debido a los cambios climáticos recientes del Cuaternario. Los animales y plantas de las regiones más septentrionales colonizaron el sur en los períodos fríos y volvieron al norte en los períodos cálidos, pero en sus dispersiones algunas especies quedaron refugiadas en las zonas elevadas de las montañas del sur. Esto parece que ha sido así. Sin embargo, a las montañas demasiado lejanas de los trópicos, tal vez llegaron muy pocas especies del norte y, por eso, hoy encontramos tan poca diversidad.

Como vemos, la complejidad del ámbito de estudio de la Ecología es enorme. Por ello, algunos pensadores sostienen que se trata de una ciencia «blanda». Es decir, de una ciencia que no ha sido capaz de establecer leyes de aplicación universal como sucede con la Física o la Química. Estas últimas ciencias han elaborado leyes que predicen cómo se comportará la materia ante situaciones determinadas. En Ecología se buscan explicaciones ideales del funcionamiento de la naturaleza que tengan valor predictivo, pero los ecólogos no están todavía en situación de enunciar leyes.

## SISTEMAS Y ECOSISTEMAS

Nuestros primitivos antepasados, e incluso cualquier tribu actual, reconoce que la presencia de plantas y animales se relaciona con determinadas condiciones ambientales. Estos conocimientos ecológicos, a veces irremediablemente perdidos, hacen posible predecir la aparición de algunos seres vivos y reconocen la estrecha relación que se da entre algunos de ellos. Durante el siglo XIX se extiende la idea de que bajo unas condiciones ambientales similares vive una fauna y flora parecida, que incluso se repite entre continentes alejados. Ello da lugar a la definición como unidad, del conjunto de esos seres vivos relacionados primordialmente entre sí (*biocenosis*). Es el inicio del ámbito de estudio más genuino de esta ciencia, que se mantiene hasta la actualidad: la Ecología de Ecosistemas.

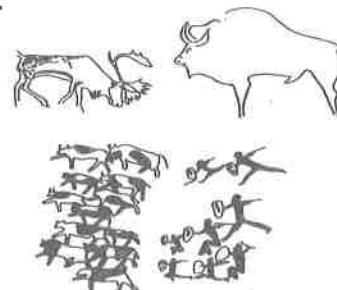


Fig. 7. Las pinturas de nuestros antepasados, al igual que las de algunas tribus actuales, son una evidencia de que se poseen ciertos conocimientos ecológicos.

Los naturalistas observaron que, en partes del planeta alejadas entre sí, se repetían paisajes muy similares con parecidas proporciones de seres vivos. Por ello, se proponen y definen diversas unidades que agrupan a seres vivos (*comunidades*, *biocenosis*) e incluso a éstos con su medio abiótico o no vivo (*ecosistemas*). Una comunidad sería una población formada por individuos de distintas especies que viven en un mismo espacio, y una biocenosis podría definirse como una comunidad de seres vivos, que no depende esencialmente de organismos exteriores. Como vemos, ambos conceptos son prácticamente idénticos y en los dos es imprescindible suponer la existencia de un límite espacial claro, una frontera que delimita y aisla a los organismos. La cuestión es por lo menos confusa y no es de extrañar que estos términos hayan surgido primordialmente al estudiar medios aparentemente bien delimitados como un lago o un estanque. Uno puede considerar que los pastizales alpinos son una comunidad o una biocenosis, en donde conviven diversas especies de plantas y animales. Pero lo mismo podríamos pensar de las decenas de animales inferiores que pueden convivir como parásitos de una única vaca del pastizal, o del casi centenar de especies distintas que pueden cohabitar dentro de una sola boñiga producida por esa vaca.

En realidad, los límites físicos que establecemos cuando denominamos una comunidad o una biocenosis son casi siempre difíciles de delimitar. Como marco de referencia, estos términos son útiles pero debemos ser precavidos a la hora de atribuir propiedades a estos conjuntos como si se tratara de superorganismos.

La noción de ecosistema tiene también estos inconvenientes. Ampliamente aceptada por todo el mundo, la noción de ecosistema es casi el emblema de lo que vulgarmente se entiende hoy por Ecología y sería algo así

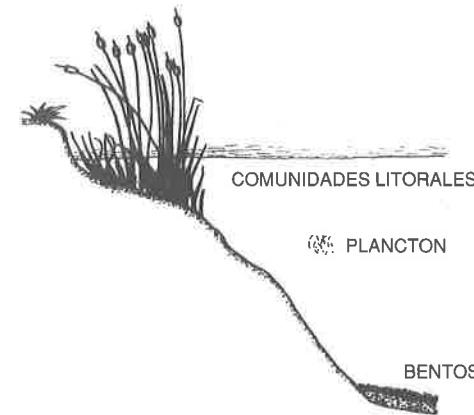


Fig. 8. Podemos estudiar la comunidad compuesta por todos los seres vivos de una charca, o estudiar por separado las comunidades litorales, el bentos y el plancton.

como el término culto de lo que vulgarmente llamamos «naturaleza».

Desde el siglo pasado, algunos naturalistas creían que un bosque o un lago podían considerarse un «superorganismo» o un «microcosmos». Los seres vivos aparecían asociados y esas asociaciones parecían repetirse una y otra vez. Era como nuestras células individuales constituyendo un cuerpo. ¿Podrían existir sociedades de seres vivos que en realidad fueran un superorganismo?

Se estudiaron los seres vivos de territorios que se parecen o difieren en sus condiciones ambientales, y se establecieron grupos de especies que estaban asociados. Resulta evidente que un trabajo de este tipo es más fácil de realizar con los vegetales. Los animales se mueven y pueden presentarse en áreas muy variadas. Cuando se intentaron establecer asociaciones de animales, se recurrió generalmente a estudiar medios muy particulares y bien delimitados, como lagos o charcas. Pero las asocia-

ciones creadas no se dejaban sistematizar. Nunca eran iguales del todo. Siempre había algún elemento extraño y una misma especie, a veces era abundante y a veces no. Con el tiempo la idea de las asociaciones se vino abajo. Las especies aparecían juntas, simplemente porque compartían algunos requerimientos parecidos.

Estas excitantes ideas están en la raíz del concepto de ecosistema. La noción de ecosistema se definió por primera vez en la década de los 30, como el conjunto interrelacionado de seres vivos y factores físicos de un determinado territorio que parece dotado, a nuestros ojos, de una cierta homogeneidad. En realidad, esta idea se derivaba del concepto de sistema que ya aplicaban los físicos y tenía la ventaja de apartarse de aquellas concepciones anteriores que entendían a estas unidades de la naturaleza como verdaderos organismos.

Un Sistema puede definirse como un conjunto de elementos caracterizado por una propiedad común a todos ellos. En un Ecosistema o Sistema Ecológico existen una serie de elementos, los seres vivos, entre los cuales se dan transferencias de materia y energía. Las plantas recogen elementos minerales del suelo y energía del sol, algunos animales se aprovechan de esa energía y acumulan esa materia en sus tejidos, otros animales consumen a los anteriores y, al final, todos son descompuestos por los organismos del suelo, para que el ciclo vuelva a comenzar. Los naturalistas han tratado de encontrar la correspondencia que hay entre los tipos de suelos, su composición mineral, la forma o topografía de un territorio, su clima, la vegetación y la fauna que posee. De este modo, se han tipificado una serie de ecosistemas o paisajes ideales que se repiten en muchos sitios y se ha tratado de encontrar cuáles son sus propiedades específicas.

En el centro de nuestra península, por ejemplo, si se trata de zonas en las que abundan las piedras graníticas o

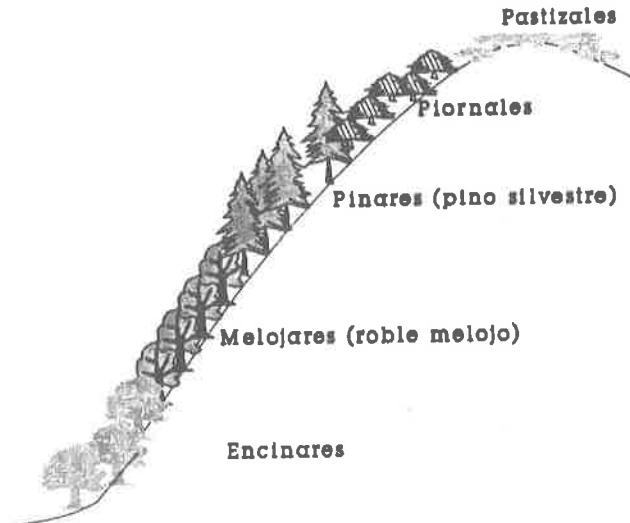


Fig. 9. Una típica disposición de la vegetación según la altura en el centro peninsular.

las arenas y arcillas producidas por su alteración, los suelos están constituidos prioritariamente por silicatos y son ácidos. Sobre este sustrato se desarrollarán los encinares si las precipitaciones no son abundantes y la temperatura media anual es templada o ligeramente cálida. Si las condiciones ambientales se van haciendo cada vez más húmedas y frías se desarrollará un robledal, un piornal o incluso un pastizal. Es la típica transición de vegetación que encontramos cuando ascendemos en altura y que está motivada, fundamentalmente, por la variación de la temperatura y la pluviosidad con la altitud. Pero es que no sólo varía la vegetación con las condiciones ambientales, sino que la mayor o menor presencia de arcillas, arenas o calizas puede alterar notablemente la composición de la vegetación.

A parte de tipificar estos paisajes ideales que reúnen a plantas y animales que aparecen generalmente juntos, se ha tratado de comprobar si cada uno de estos ecosistemas evoluciona en el tiempo siguiendo algunas leyes determinadas.

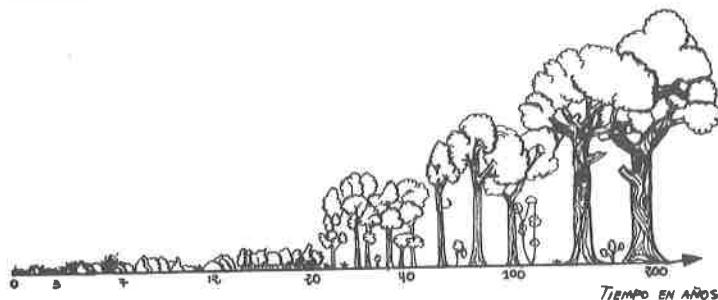


Fig. 10.

Por ejemplo, cualquiera que sea el uso que se haga de un territorio: campo de cultivo, pastizal para el ganado o monte explotado forestalmente, si se abandona se convierte en un tiempo más o menos largo, en algún tipo de bosque similar al que existía anteriormente a su uso. Es lo que en Ecología se denomina sucesión. Dependiendo del clima, las características físicas y químicas del suelo o la topografía, se supone que la vegetación y la fauna tiende hacia un estado ideal y equilibrado. El tema es controvertido e interesante y volveremos sobre él más tarde, pero aquí lo que nos interesa es que, si esto fuera cierto, podríamos sospechar que los ecosistemas evolucionan siguiendo una dirección y que... ¡tienen capacidad de autorregularse!: si se produce una alteración en un ecosistema (un incendio en una parte de un bosque, la presencia de un contaminante, etc.), éste poseería una cierta capacidad de regresar a su estado original.

En un sistema, la situación de un elemento está influida por la situación del resto de los elementos. Entre los elementos de un sistema se producen interacciones y el futuro del sistema depende de esas interacciones. Así que el estado futuro de un sistema no puede ser cualquiera, sus posibilidades de ser están limitadas por las interacciones pasadas.

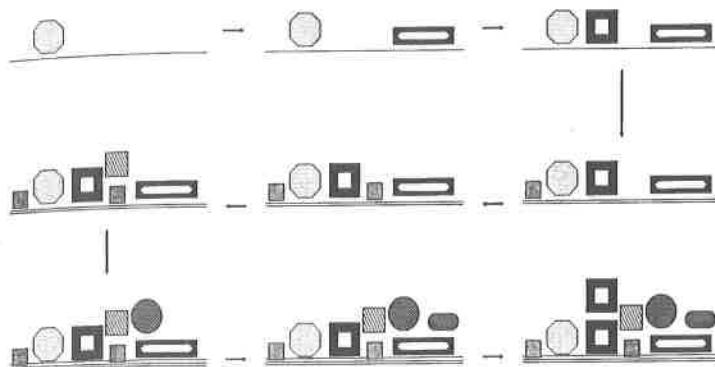


Fig. 11. *El ingreso de un elemento limita las posibilidades de los que vendrán.*

Veamos un sencillo ejemplo. Imaginemos una habitación en la que van ingresando una serie de personas. Un bar, por ejemplo. Cada una de las personas es distinta de los demás y su entrada en el bar se realiza al azar. También es aleatoria la identidad, el carácter o el aspecto de los clientes. Estos pueden entrar solos o en grupos pero, inevitablemente, las características de los primeros clientes en entrar y las interacciones que se produzcan entre ellos pueden marcar la situación futura. No es que el estado futuro del bar dependa totalmente de lo que ocurra en un comienzo, pero sí que las posibilidades de que se dé

cualquier situación se van reduciendo a medida que entran elementos en escena y se producen interacciones entre ellos. Los profesionales del gremio saben que lo difícil es hacerse con una clientela, un grupo de gente más o menos afín o relacionada por alguna característica.



Fig. 12.

Hay otra peculiaridad básica en un sistema: la elasticidad. Los elementos nunca están ligados rígidamente. Cada uno de ellos posee una cierta libertad de actuación y la gama de posibles interacciones es siempre muy grande, de modo que da la impresión de que no existe un orden. La situación podría ser análoga a la de nuestro bar imaginario o a la de una calle por la que caminan muchas personas. Desde fuera, el panorama puede parecer caótico, pero no lo es. Hay un orden en toda esa suma de individualidades que interaccionan. Ese orden delimita las posibilidades y condiciona el destino del sistema. No se sabe con certeza lo que podrá suceder, pero se saben algunas cosas que probablemente no sucederán. Por ejemplo, casi seguramente nunca se reproducirá una situación pasada.

La interacción actual entre los elementos de un sistema no es rígida y condiciona su situación futura. Pero además, las relaciones entre los constituyentes de un sistema pueden llegar a producir mecanismos de control de unos elementos sobre otros. Por ejemplo, observemos el ciclo del oxígeno como si fuera un sistema.

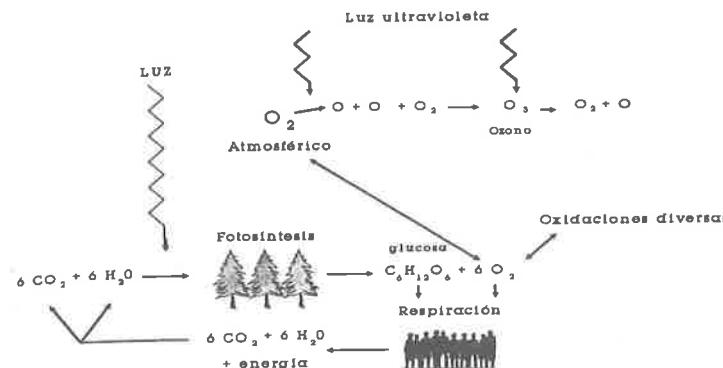


Fig. 13. Ciclo del oxígeno.

Las plantas verdes realizan la fotosíntesis de azúcares a partir de anhídrido carbónico, agua y luz, desprendiendo oxígeno como residuo. Ese oxígeno, un verdadero veneno cuando no existía vida animal en el planeta, es utilizado por los animales para oxidar la materia vegetal ingerida produciendo energía, en el proceso denominado respiración. En realidad las plantas también respiran y con ello consiguen la energía necesaria para iniciar la fotosíntesis. Aproximadamente 400 millones de toneladas de oxígeno son liberadas anualmente a la atmósfera, una gran cantidad del cual es producido por algas y microorganismos. Aunque esta producción parece enorme... ¡sólo supone alrededor del 0,01 % del total de oxígeno que existe en la

atmósfera! Así que no va ser fácil acabar con el oxígeno del planeta.

Un aspecto del ciclo del oxígeno que se desarrolla en la estratosfera (capa atmosférica situada aproximadamente entre los 10.000 y los 50.000 metros de altura), ha recibido últimamente mucha atención. En esta cercana región de la atmósfera, la radiación ultravioleta de gran energía es capaz de romper la molécula de oxígeno en dos átomos inestables, los cuales pueden reaccionar con otra molécula de oxígeno dando lugar a una molécula de ozono con tres átomos de oxígeno. Si la radiación ultravioleta choca con una molécula de ozono, éste puede convertirse nuevamente en oxígeno molecular ( $O_2$ ) y oxígeno atómico (O). En realidad, durante la noche se genera más ozono en la atmósfera y durante el día suele destruirse más. Este ciclo impide que buena parte de la radiación ultravioleta llegue a la superficie y que sus efectos mutágenos se manifiesten con intensidad, ello a

pesar de que en la estratosfera su concentración es sólo de cinco partes por millón.

Recientemente han aparecido en la atmósfera una serie de sustancias utilizadas como propelentes, refrigerantes y disolventes (clorofluorcarburos o CFCs). Estos compuestos fueron elegidos por la industria, precisamente debido a su falta de toxicidad ya que son incapaces de reaccionar con otras sustancias... ¡de la baja atmósfera! Pero si llegan a las regiones en donde se genera el ozono, el cloro presente en los CFCs se desprende por la actuación de la radiación ultravioleta y se mezcla con el ozono produciendo monóxido de cloro y oxígeno. El monóxido de cloro es muy inestable y se convierte en cloro y oxígeno atómico. De este modo, cada átomo de cloro puede eliminar muchos miles de moléculas de ozono.

Pero el aspecto que más nos interesa en este momento del ciclo del oxígeno, es el que trata de la regulación de este sistema. El oxígeno se mezcla con numerosos compuestos y forma parte esencial de la atmósfera actual. Ahora se sabe que la atmósfera primitiva de la tierra carecía de oxígeno y que éste se produjo sobre todo como consecuencia de la acción fotosintética de los vegetales.

El porcentaje de oxígeno en la atmósfera es del 21 % y si se mantiene constante es que debe de producirse tanto oxígeno como se consume. Los animales y las bacterias se encargan de consumir toda la materia vegetal y los compuestos fabricados en la fotosíntesis se descomponen con la respiración. Entonces ¿cómo ha podido incrementarse el porcentaje de oxígeno en la atmósfera? En realidad, parece que no toda la materia vegetal es digerida por los animales o degradada por los microorganismos. El ciclo no es perfecto y un 0,1 % de la materia vegetal es enterrada sin oxidarse, por lo que se produce un poco más de oxígeno del que se utiliza en la

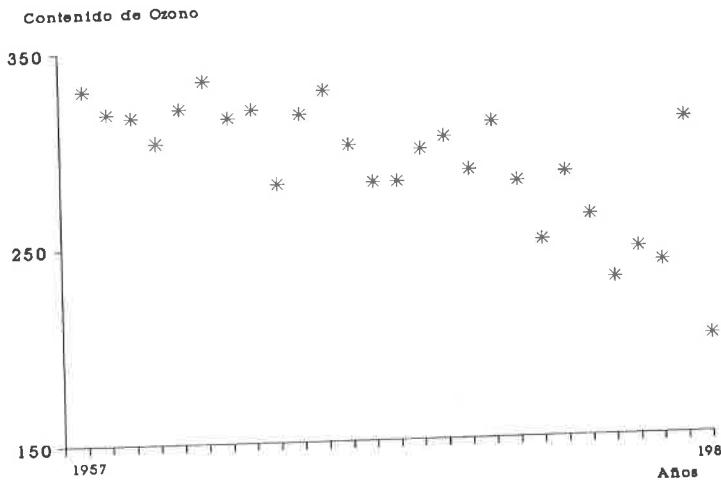


Fig. 14. Disminución del contenido de ozono al inicio de la primavera austral.

respiración. Este desequilibrio ha propiciado el incremento paulatino del contenido de oxígeno en la atmósfera.

	Dióxido de carbono	Nitrógeno	Oxígeno	Argón	Temperatura en superficie
Tierra con vida	0.03 %	79 %	21 %	1 %	13
Tierra sin vida	98 %	1.9 %	vestigios	0.1 %	290
Marte	95 %	2.7 %	0.13 %	2 %	- 53
Venus	98 %	1.9 %	vestigios	0.1 %	477

Fig. 15. Composición comparada de la atmósfera de varios planetas.

Ahora bien, el porcentaje de oxígeno en la atmósfera está prácticamente al límite. Si se incrementara sólo al 25 %, se produciría la combustión espontánea de numerosos materiales terrestres y sería casi imposible detener el avance de un incendio forestal. ¿Por qué no ha aumentado más el porcentaje de oxígeno? Aparte de diversas reacciones con muchas sustancias terrestres, el metano parece ser el principal responsable de que la concentración de oxígeno no se incremente, al reaccionar con el oxígeno (oxidarse) en las capas bajas de la atmósfera. El metano es un gas producido por las bacterias que habitan los fangos de los fondos marinos o fluviales y los aparatos digestivos de los mamíferos (¡nuestras ventosidades!).

Para algunos científicos, que el valor del porcentaje de oxígeno sea estable señala la presencia de un mecanismo de control, un termostato que actuaría a nivel de todo el planeta y que permitiría equilibrar la concentración de oxígeno a un valor óptimo. En este caso, toda la Tierra sería un ecosistema con capacidad de regulación.

Casi cualquier cosa puede ser considerada y examinada como si fuera un sistema. El universo entero es un sistema y esperamos que el número de elementos que

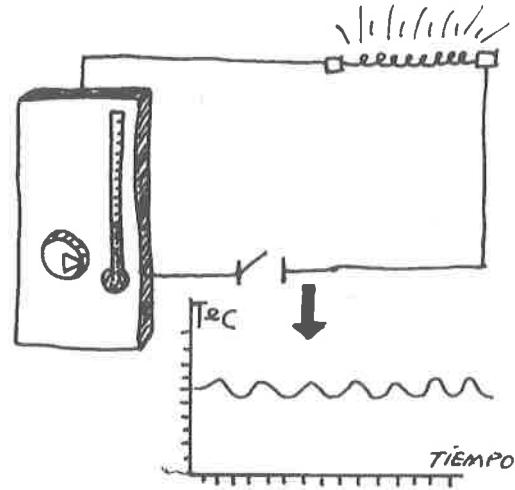


Fig. 16. Un termostato es un aparato que regula el encendido de una fuente de calor, según la temperatura ambiente sea inferior o superior a la que le hemos indicado. Cuando hay un termostato, es típico que la temperatura oscile arriba y abajo alrededor de la deseada.

contiene sea finito y que las interacciones pasadas limiten las posibilidades futuras. Esperamos, por ejemplo, que cada vez que descubrimos un elemento químico nuevo, queden menos por descubrir y que mañana la conformación de nuestro sistema solar siga siendo producto de unos acontecimientos anteriores. Si no fuera así, sería imposible predecir nada, no existiría una única causa para los fenómenos y la ciencia no tendría sentido.

Pueden considerarse sistemas a las células, a los seres como nosotros compuestos de muchas células, a las poblaciones de organismos o a los conjuntos de poblaciones de especies distintas. Las propiedades de los sistemas pueden observarse más o menos nítidamente en cada caso, pero tal vez ello sea inevitable: una simple consecuencia

de la interacción entre un número suficiente de elementos. Aunque observemos que un conjunto de elementos tiene las propiedades de los sistemas, no tenemos que suponer que ese conjunto sea un ser vivo. Un pedazo de la naturaleza, e incluso la Tierra entera, puede ser considerada un sistema, pero no por ello tiene que estar dotada de vida propia como si fuera un organismo. No hemos de perder de vista que un ecosistema es una manera de ver la naturaleza, un nivel de organización de la vida que hemos delimitado nosotros para poder estudiarla.

## EL TODO Y LA SUMA DE LAS PARTES

Como se ve, hablar de ecosistemas no es fácil. Es un tema en el que a veces influyen los deseos y las creencias personales de cada cual. Hay otras dos cuestiones relacionadas con la idea de ecosistema que, en parte, también son producto de nuestra idea preconcebida del mundo: el progreso y la complejidad.

Algunos ecólogos suponen que en el desarrollo normal de la biosfera, el número de elementos y el número de interacciones entre ellos aumentan con el tiempo. En otras palabras, que a medida que pasa el tiempo, los ecosistemas se hacen cada vez más complicados. Naturalmente, pueden ocurrir catástrofes que den al traste con la complejidad conseguida. Pero lo importante es que después, siempre existe ese incremento paulatino de la complejidad, incremento que es rápido al principio y lento más tarde. Esta es la idea de progreso, aunque sería menos tendencioso y más acertado decir que los ecosistemas se estructuran siguiendo una dirección.

Esto no significa que exista una finalidad, que los ecosistemas o la vida tiendan hacia una meta. Más bien significa que hay algunas leyes ineludibles: al principio pueden producirse todo tipo de interacciones entre los elementos, después no todas las interacciones son posibles y la aparición de una nueva situación es cada vez más

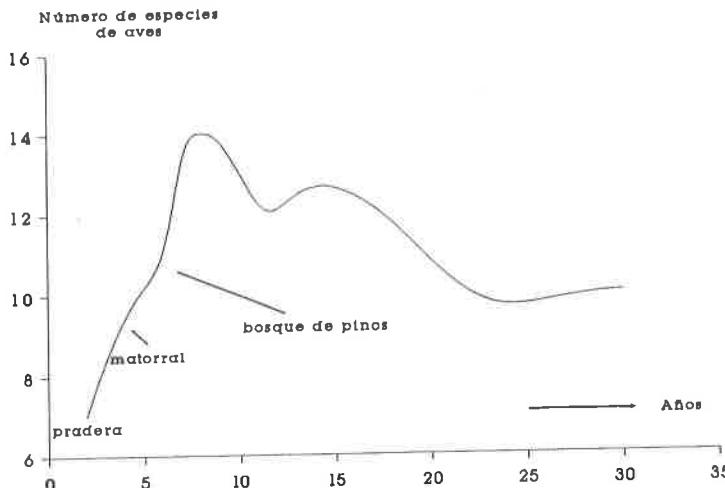


Fig. 17. Variación del número de aves nidificantes durante el proceso de formación de un bosque de pinos en centroeuropa.

difícil. Un campo abandonado puede ser invadido rápidamente por muchas especies de plantas. Las que primero lo colonicen serán aquellas que tengan una gran capacidad de dispersión o de crecimiento. Después, a medida que transcurre el tiempo, irán apareciendo paulatinamente plantas de crecimiento o dispersión cada vez más lenta, que por vivir más tiempo, impedirán que se asienten muchas plantas de vida corta. De este modo, los relevos tardarán cada vez más en producirse. Así irán pasando etapas y con la aparición de cada una, se limitarán cada vez más las posibilidades de ser de ese territorio. Donde han crecido las encinas, las hayas o los robles, es difícil que aparezcan nuevas plantas que les sustituyan.

Otra idea asociada es que la complejidad produce estabilidad. Hasta los años sesenta, ésta era una idea ampliamente sustentada por los ecólogos que, además, resultaba muy atractiva: el conjunto de todos los elemen-

tos de un sistema es más que la mera suma de las partes. Cuantos más elementos se añaden, mayor es la complejidad del sistema y cuanto más complejo, menor es la posibilidad de que una alteración de las condiciones lo modifique. Es decir, cuanto mayor es la complejidad, mayor es la capacidad de autorregulación del sistema y más rápidamente es capaz de regresar éste al «equilibrio».

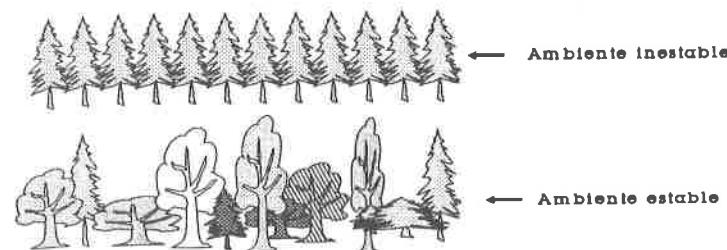


Fig. 18. En realidad, cuanto más inestable es un ambiente, más difícil es que sea habitado por muchas especies distintas.

Aunque en los últimos decenios nuestra perspectiva ha cambiado notablemente, percibimos la naturaleza inalterada o en «equilibrio» porque, sobre todo, nos centramos en las grandes especies de vida larga, pero la cosa cambia si nos acercamos al mundo de los seres «inferiores». La capacidad de control o regulación de los elementos de un sistema, que surge como consecuencia de las interacciones entre éstos, nos da la impresión de equilibrio. Un bosque tiene una estructura y unas relaciones entre sus componentes que nos parecen inmutables. Mirando desde nuestra escala, el bosque no cambia. Pero los bosques han variado, las especies han desaparecido o cambiado de lugar. Ha habido invasiones de animales y plantas procedentes de otros lugares y grandes catástrofes. Con una perspectiva temporal amplia, ningún ecosis-

tema ha permanecido inalterado ni ubicado en el mismo lugar del espacio.

Incluso a una corta escala temporal, los bosques que nos parecen semejantes de año en año sufren oscilaciones. Hay años en los que se producen cosechas anormalmente abundantes de semillas (bellotas, hayucos, etc.), debido a que el clima ha sido favorable y a que los árboles han acumulado suficientes reservas en sus médulas. Son los años de montanera. En el diccionario, se denomina montanera al período en el que se lleva al monte a los cerdos. Hay especies que adaptan sus ciclos vitales para aprovechar las favorables condiciones de esos años y, en general, toda la vida del bosque se transforma.

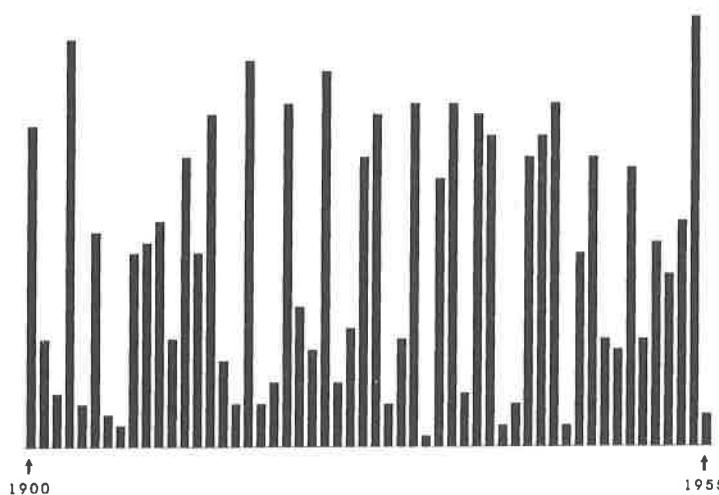


Fig. 19. Oscilación del número de semillas en un bosque de abetos sueco desde principios de siglo.

Las poblaciones de las especies fluctúan de año en año y no existe un equilibrio determinado. Los científicos, que

generalmente no abundan en los países tropicales con escasos recursos económicos, habían prestado menos atención a los trópicos. Cuando lo han hecho, han descubierto que también allí se producen fluctuaciones y del mismo nivel que en las regiones templadas. Se sabe que algunos ecosistemas sufren cambios periódicos que, tal vez, puede que sean más frecuentes de lo que creemos. Por ejemplo, algunos lagos podrían sufrir ciclos de desecación e inundación, provocados por el crecimiento vegetal: las plantas agotan el agua, el lago se seca y la consiguiente disminución de las plantas permite una nueva inundación del lago. Esto significaría que los ecosistemas siempre tienen algún grado de inestabilidad.

Entonces, ¿cómo podemos asegurar que algunas fluctuaciones que atribuimos a la acción del hombre no pueden ser naturales? La cuestión es delicada y pone de relieve la necesidad de hacer estudios a largo plazo. Es imprescindible conocer el modo en que las comunidades de diferentes partes del planeta responden ante las perturbaciones. Son investigaciones a largo plazo, pues hay que examinar los efectos de diversos agentes desestabilizadores en muchos ecosistemas. Estos estudios no se han realizado hasta ahora, porque requerían una dedicación plena durante muchos años, eran costosos y, sobre todo, tenían que realizarse en países ajenos y distantes. Actualmente es necesario tomar decisiones, pero se está pendiente de los datos que avalen firmemente esas decisiones. Puede que sea una vacilación interesada y peligrosa.

Pensamos en los seres vivos como piezas de un plan. Cada pieza tiene su cometido y participa en el funcionamiento del ecosistema, de modo que la desaparición de una especie cualquiera, trastocaría este delicado equilibrio modificando el conjunto. A este esquema mental podríamos denominarlo «*todo está conectado con todo*».

La extinción de los linces sería más probable, si éstos dependieran para su supervivencia sólo de los conejos. En ese caso, la desaparición de los conejos, implicaría la automática desaparición de los linces. Ahora bien, si los linces se alimentan de muchas especies de presas y si además hay otros depredadores que atacan a esas presas, la desaparición de una especie es más difícil que provoque la extinción de otra. Hasta aquí parece evidente que una mayor complejidad significa mayor estabilidad. Sin embargo, para muchos ecólogos no puede prolongarse esta argumentación indefinidamente.

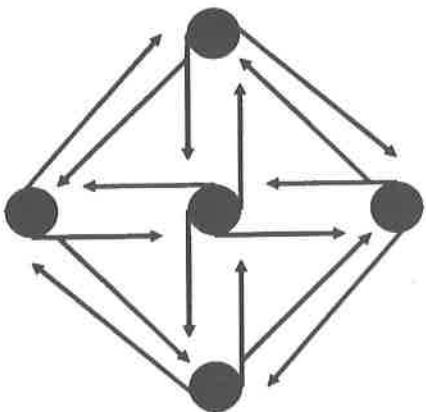


Fig. 20. *La idea de que todo está conectado con todo nos suele resultar estéticamente más perfecta.*

Un ser vivo cualquiera no está conectado con todos los demás que le rodean. Para un carnívoro, la mayoría de las plantas carecen de interés y no todos los herbívoros pueden servirle de presa. Tampoco un herbívoro come todo tipo de vegetales. Así que, entre las especies de un

mismo ecosistema, sólo se da una parte de todas las conexiones o relaciones posibles. Para algunos estudios, en la naturaleza probablemente sólo tienen lugar la mitad o un tercio de todas estas conexiones.

Por tanto, los ecosistemas están moderadamente conectados. Las especies mantienen relaciones entre ellas y a través de esas conexiones se intercambia materia y energía. Pero la misión de una planta no es transmitir la energía que captura a un herbívoro, para que éste a su vez la transmita a un carnívoro y así pueda funcionar el sistema. Cada ser vivo es primordialmente «egoístas» y se dedica a detener la materia y energía, no a transmitirla. Pretende capturar el máximo posible para él, no para el resto de los individuos de su especie o de otras especies. De este modo, la energía o la materia en un ecosistema fluye probablemente por pequeños canales, haya muchas o pocas especies. Podría decirse que las especies que compiten por los recursos están generalmente solas, aunque alrededor exista una enorme variedad de seres vivos.

Indudablemente, hay conexiones indirectas entre las especies. Es decir, circuitos a través de los cuales se pueden ver afectadas dos especies en principio no relacionadas. Por ejemplo, muchos vegetales producen sustancias tóxicas para impedir su consumo por parte de los herbívoros o la destrucción por bacterias y hongos. El colmo de esta adaptación lo constituyen algunas maderas tropicales como el ébano, que son prácticamente indestructibles. Las plantas que acumularon estas sustancias en sus tejidos, fueron más sanas y produjeron más descendientes. Sin embargo, aparecieron algunos insectos herbívoros capaces de almacenar estos tóxicos sin dañar su organismo y se inició una «guerra química» evolutiva entre insectos y plantas. El almacenamiento de estos tóxicos en el cuerpo de los herbívoros, afectó también a

los carnívoros, y fue utilizado como un método para evitar la predación. Así, la evolución de los depredadores se ha visto condicionada por los vegetales.

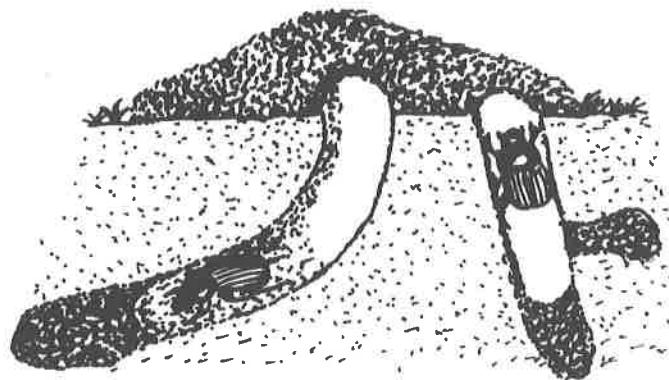


Fig. 21. Los escarabajos coprófagos pueden enterrar cantidades enormes de excrementos bajo el suelo.

En centroeuropa, la presencia de los patos en algunos embalses es la mejor garantía de pesca. Sin patos las plantas acuáticas no son comidas y caen al fondo. Allí se pudren en un proceso bacteriano que consume el oxígeno del agua, impidiendo la supervivencia de los peces. Otro ejemplo. Una enorme variedad de escarabajos se alimenta con los excrementos de los grandes herbívoros. Estos escarabajos construyen galerías subterráneas, en las que entierran las heces para consumirlas luego tranquilamente o para efectuar nidos donde colocar sus puestas. La actividad enterradora de estos animales puede llegar a ser tan importante, que al introducir el ganado doméstico en Australia sin llevar a su vez esta fauna coprófaga asociada, se provocó una acumulación de heces en el campo. Ello trajo como consecuencia un incremento de las mos-

cas y mosquitos, una ralentización del crecimiento vegetal y una disminución del área de pastoreo, ya que las vacas rechazan la hierba cercana a las heces. El problema fue tan grave, que se terminó eligiendo e introduciendo en Australia cientos de miles de ejemplares de escarabajos africanos.

La actividad de cualquier ser vivo crea heterogeneidad. Los agujeros de los picos picapinos sirven para que aniden otros animales, las hormigas transportan semillas de un lugar a otro y los ciervos, al matar árboles por frotar su ornamento contra la corteza, producen «huecos» en el bosque. De este modo, un medio homogéneo va adquiriendo heterogeneidad y siempre existe un sitio para algunas especies. Vemos, por tanto, que las conexiones entre las especies son, en ocasiones, impredecibles. Indudablemente, en un ecosistema no pueden darse todas las conexiones posibles. Sin embargo, también es verdad que puede existir una relación tan intrincada entre algunas especies, que una modificación en principio intranscendente, es capaz de provocar una cascada de acontecimientos impredecibles.



Fig. 22. La extinción por la acción del hombre, principalmente de raza blanca, también afecta a otras razas. Guillermo Lance fue el último hombre Tasmanio que desapareció apenas 75 años después de la colonización de la isla.

Está constatada la extinción de toda la flora y fauna autóctona de algunas islas, debido a la introducción de cabras, ovejas o cerdos. En ocasiones este desequilibrio genera con el tiempo otro nuevo ecosistema. Buena parte de los paisajes actuales de nuestro país, son incompatibles con la ausencia de explotación por parte del hombre. Muchos pastizales ibéricos necesitan de la presencia ganadera y una interrupción de la trashumancia, por ejemplo, puede provocar el incremento de los arbustos y de los fuegos.

Hay ecosistemas que resisten mejor el cambio que otros pero, en principio, aquellos que tienen más especies no parecen tener forzosamente una mayor estabilidad y elasticidad ante esos cambios. Se puede decir que los lugares más diversos permanecen constantes, mientras no varíen las condiciones en las que evolucionaron. La existencia de muchas conexiones indirectas entre las especies de un ecosistema, no parece ser la norma y, a la espera de nuevos datos, no tenemos argumentos para sostener que «todo está relacionado con todo».

Actualmente, algunos ecólogos opinan incluso que si se producen muchas relaciones entre las especies de un ecosistema (si aumentara la «conectancia» del ecosistema dicen ellos), sería difícil que incrementara el número de especies y la complejidad. Por ejemplo, si una especie fuera totalmente omnívora y se alimentara de cualquier cosa, mantendría relaciones con todas las demás e incrementaría la conectancia del ecosistema, pero desplazaría a muchos depredadores y haría desaparecer plantas raras, disminuyendo la diversidad global. En realidad, algo así pasa con las ratas y con nosotros.

Una especie nueva puede entrar en un ecosistema y al hacerlo incrementar su diversidad, pero para que sus efectos no sean negativos es necesario que se relacionen con pocas especies. Mediante este proceso, poco a poco

puede ir incrementando la diversidad y la complejidad de un ecosistema, pero las especies que se relacionen entre sí estarán cada vez más aisladas del resto. El resultado es que el ambiente tiende a estar compartimentado. Como ya dijimos antes, la energía o la materia en un ecosistema fluye probablemente por pequeños canales.

Antes pensábamos que las selvas tropicales o los arrecifes de coral, en donde hay miles de especies diferentes, eran más estables que los campos de cultivo, generalmente con un sola especie. Los monocultivos sufrían plagas y pestes, mientras que las selvas tenían capacidad de autorregularse y su complejidad les confería estabilidad. Eran casi como un superorganismo imperturbable. Ahora pensamos que la estabilidad no es consecuencia de la complejidad, sino que la vida tiende a ser cada vez más compleja cuando las condiciones ambientales son estables. Las selvas de Borneo o del Amazonas serían el producto de la constancia ambiental que hay en los trópicos, pero su complejidad no impide que se muestre frágiles ante las actuaciones humanas: Las áreas de selva tropical se han reducido ya a la mitad de su extensión original y cada año desaparece un 1 por 100 más (100.000 km<sup>2</sup>), una extensión equivalente a toda Andalucía y la región de Murcia juntas.

No sería extraño que fuera imposible elaborar modelos fiables para predecir cómo se comportará un ecosistema ante un cambio. La cantidad de posibles perturbaciones que pueden afectar a una comunidad de organismos es enorme, y la suma de perturbaciones puede producir resultados imprevisibles. Además, un mismo ecosistema podría reaccionar de forma distinta ante un misma perturbación, dependiendo de a qué especies afectase. Por ejemplo, parece que la eliminación de un depredador tiene resultados mucho más negativos que la eliminación de un vegetal. La supresión de las especies que se encuentran en

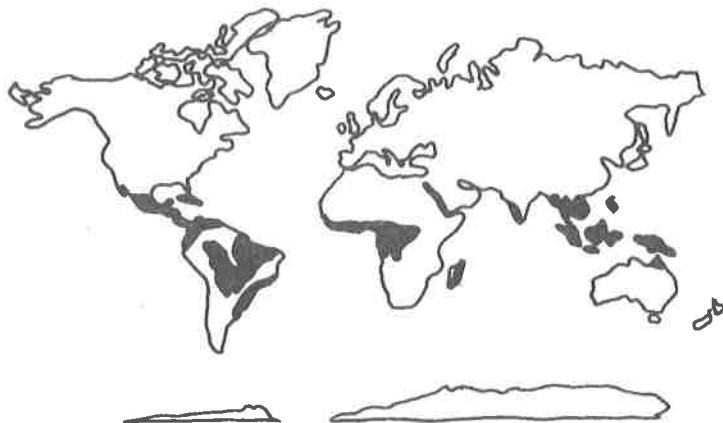


Fig. 23. Situación de las zonas de selva tropical húmeda.

el final de los flujos de energía (los depredadores que consumen la materia de los herbívoros, a su vez generada por los vegetales), tiene mayor transcendencia porque ellos controlan las poblaciones de los herbívoros, que a su vez controlan las de los vegetales.

En fin, no existe una regla para todas las comunidades y, tal vez, sólo podemos esperar que los ecosistemas de ambientes estables sean generalmente más complejos y frágiles, mientras que los ecosistemas de ambientes variables, con especies capaces de subsistir ante condiciones diferentes, sean más sencillos y robustos. Por ello, es más que probable que las comunidades de los ambientes constantes (los bosques tropicales, por ejemplo) sean más sensibles a las perturbaciones que no son naturales.

## MIDIENDO LA COMPLEJIDAD

La manera más lógica de medir la complejidad de un ecosistema, es determinar la cantidad de elementos distintos que contiene. Es decir, conocer la cantidad de especies diferentes que hay en ese ecosistema. Esa es una tarea enorme y difícil. En general, como mucho, suele saberse la cantidad de especies que hay de un grupo determinado (plantas superiores, aves, mamíferos, etc.), pero resulta muy difícil dar un cómputo total de las especies de cualquier ecosistema, sobre todo si se quiere incluir a seres vivos como los insectos, las bacterias o los protozoos.

Al número de especies se le suele denominar *riqueza*. De este modo, si un territorio posee más especies que otro, se dice que tiene una riqueza superior. Actualmente ha adquirido un gran auge la palabra *diversidad* o *biodiversidad*. Se trata de un término con un significado en cierta forma similar al de riqueza, aunque algo más completo y complicado. Ello es así, porque en la diversidad también se tiene en cuenta la distinta abundancia de las especies.

Evidentemente, si hay más especies o más riqueza, hay más diversidad. Pero si dos zonas tuvieran la misma riqueza, ¿qué indicarían las abundancias de sus especies?

Cuando en una comunidad hay una o varias especies dominantes, a las que pertenecen la gran mayoría de los individuos, la diversidad es menor que si las especies tienen abundancias parecidas. En este último caso se dice

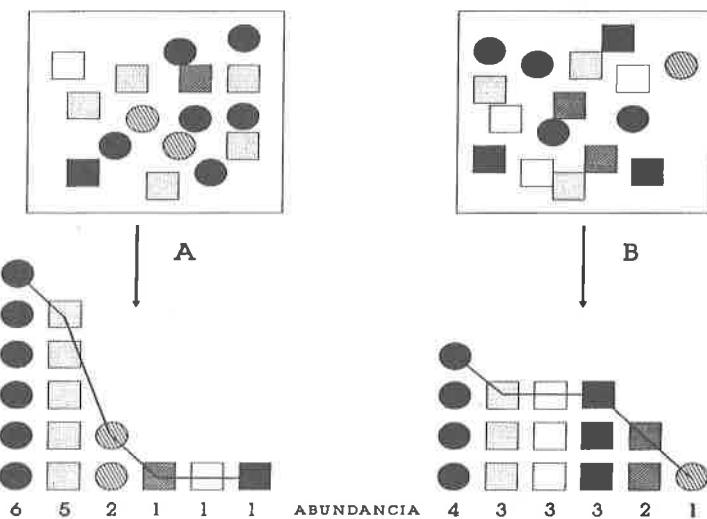


Fig. 24. Cada símbolo distinto es una especie diferente. Las comunidades A y B tienen la misma riqueza y la misma abundancia general, pero difieren en el reparto de los individuos entre las especies. Este reparto es más equitativo en la comunidad B. Por ello, si ordenamos las especies de mayor a menor abundancia, la línea que une la abundancia de las especies es más inclinada en las comunidades menos diversas.

que existe una mayor *equitatividad*. En realidad, es de suponer que un ecosistema es menos complejo, si una sola especie acapara la mayoría de la energía y la materia que pasa a través de él. Por ello, las medidas de diversidad o complejidad procuran tener en cuenta, no sólo el número de especies (riqueza) sino el reparto de los individuos entre ellas (equitatividad).

Se ha examinado en muchas comunidades, cómo se reparte el total de individuos entre las distintas especies. Algunas comunidades poseen unas pocas especies muy

comunes y muchas especies raras, mientras que en otras comunidades hay más especies de abundancia intermedia. En la comunidad de la izquierda de la figura 25, dominan unas pocas especies y se supone que éstas acaparan la mayoría de la energía y la materia. Sin embargo, en la comunidad de la derecha es de esperar que participe un número mayor de especies en el funcionamiento del ecosistema.

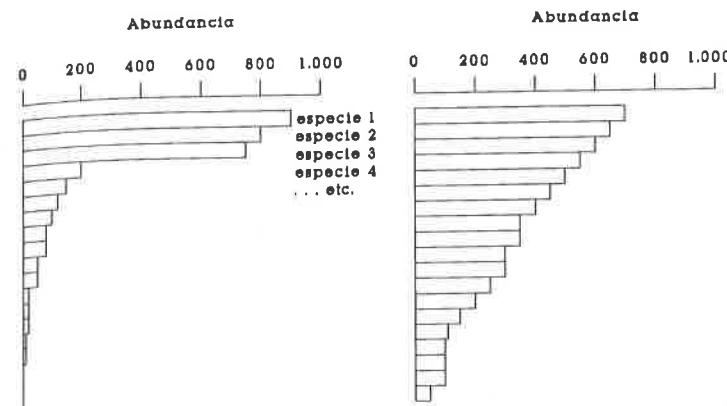


Fig. 25.

El reparto de la abundancia entre las especies, nos da una información muy valiosa acerca de cómo está organizada la comunidad. Las comunidades dominadas por pocas especies, son propias de ambientes rigurosos, en donde sólo unas pocas especies son capaces de subsistir. Encontraremos comunidades estructuradas así, en los lugares que han sufrido algún impacto o transformación: en los campos de cultivo recién abandonados, en los ríos contaminados, o en ambientes muy inestables, como por ejemplo, en zonas que sufren inundaciones periódicas. En cambio, las comunidades cuyas especies no difieren

mucho en sus abundancias, aparecen frecuentemente cuando el ambiente está inalterado o no sufre perturbaciones.

Si hay un único elemento en un sistema y éste se repite continuamente, no cabe duda de que la complejidad es mínima. Por el contrario, si existen muchos elementos y sólo hay un ejemplar de cada uno, el sistema resulta complicadísimo. Probablemente ningún sistema puede funcionar si está estructurado de cualquiera de estas dos maneras tan extremas.

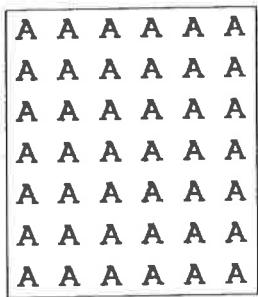
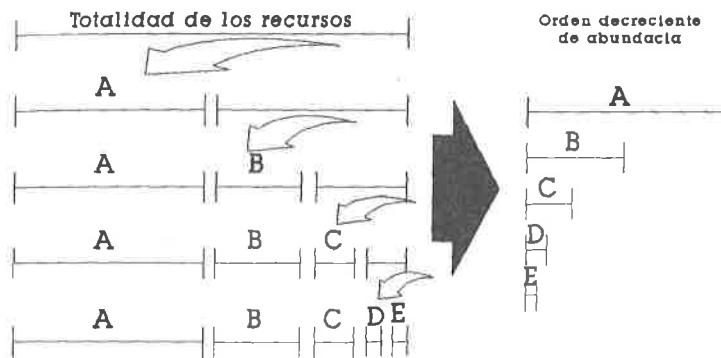


Fig. 26. Ningún texto puede significar nada si consta de un solo signo repetido o si está compuesto por muchos signos que no se repiten nunca.

Cuando se colocan en orden decreciente las abundancias de las distintas especies de una comunidad, tal y como hicimos antes, siempre aparece un patrón intermedio entre esas dos situaciones extremas. En realidad, los tipos de distribución de las abundancias de las especies no son tan variados como parece, incluso podríamos decir que son bastante regulares. Es como si la naturaleza, para poder funcionar, necesitara que sus elementos tuvieran unas determinadas relaciones numéricas entre ellos.

Los ecólogos también se sienten fascinados por las regularidades de los números. En un principio se propuso, que la abundancia de las especies de una comunidad seguía una progresión geométrica. Es decir, que si ordenamos las especies de mayor a menor abundancia, cada una tiene el doble de individuos que la anterior. Si la especie menos abundante tiene 2 individuos, la siguiente tiene 4, la otra 8 y después 16, 32, 64, 128, etc. Se supone que las especies tienen poblaciones mayores si disponen de más recursos, de modo que si los recursos se dividen desigualmente entre las especies habrá algunas más abundantes que otras.

Esta relación entre el número de especies y el número de individuos, puede producirse en la naturaleza de la siguiente forma. Imaginemos una isla recién emergida. La primera especie vegetal en llegar utilizará una proporción determinada de los recursos, la segunda tomara una parte de lo que queda, y así sucesivamente.



Especies: A, B, C, D, E.

Fig. 27.

Si a la isla llegaran muchas especies a la vez y éstas se repartieran los recursos al azar, de manera que ninguna se adueñase de la mayoría de los recursos, entonces la distribución de las abundancias no seguiría ese orden decreciente tan intenso. Hay pocas comunidades en las que se dé esta relación entre el número de especies y la abundancia. Se trata de comunidades en donde las especies se reparten bien los recursos y no difieren mucho en sus abundancias.

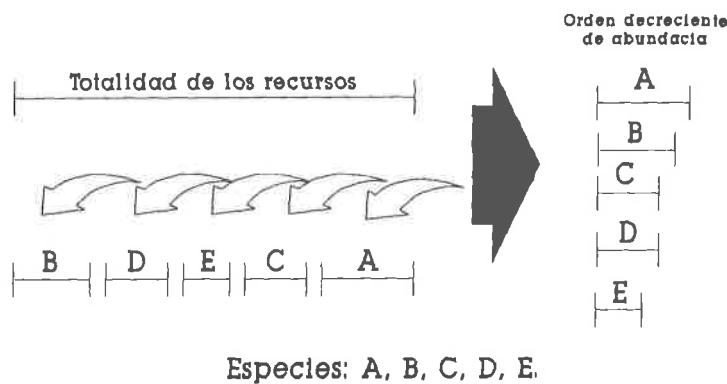


Fig. 28.

En la mayoría de las ocasiones la relación entre las especies y la abundancia es intermedia entre los dos casos extremos anteriores. Generalmente, en las comunidades lo normal es que haya bastantes especies raras, pocas muy frecuentes y muchas con una abundancia intermedia. Esta es una regla que también se cumple en muchas otras ocasiones: hay bastantes personas pobres, pocas ricas y mucha clase media. Es muy posible que este tipo de relación entre las especies y la abundancia, se dé siempre que los elementos de un sistema interactúan y compiten por unos recursos limitados.

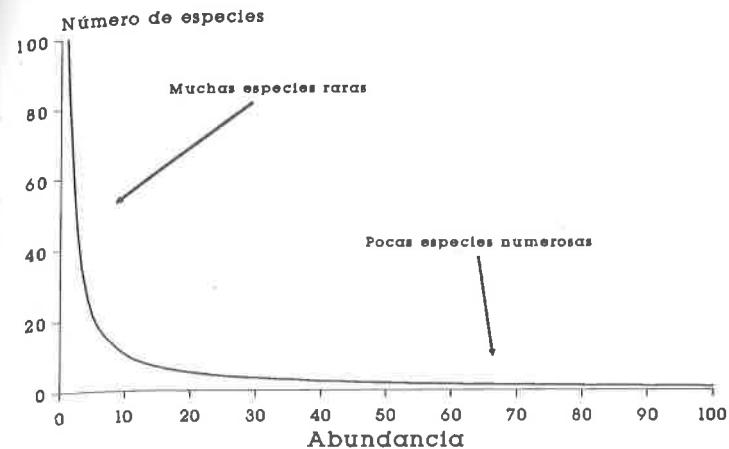


Fig. 29. Típica relación entre el número de especies y la abundancia con que aparecen en una comunidad.

A este tipo de distribución del número de especies se la conoce como distribución de *series logarítmicas* o distribución *lognormal*. En este caso, si ordenamos las especies según su abundancia, el decrecimiento no es ni muy rápido ni muy lento.

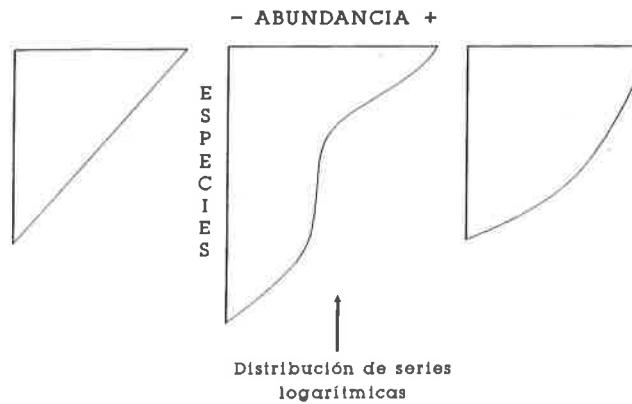


Fig. 30. La distribución de series logarítmicas es intermedia entre estas otras dos.

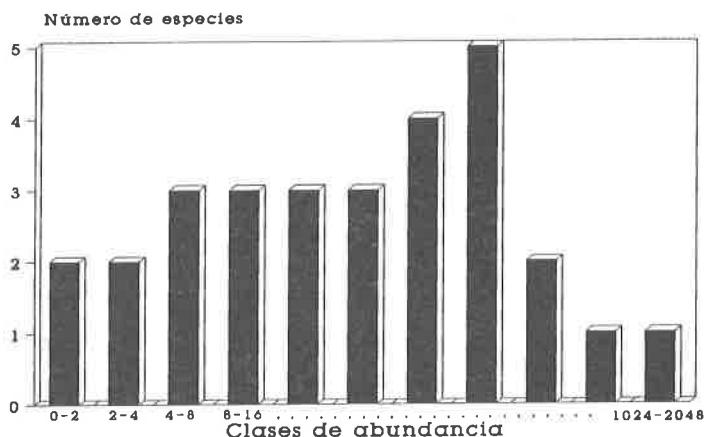
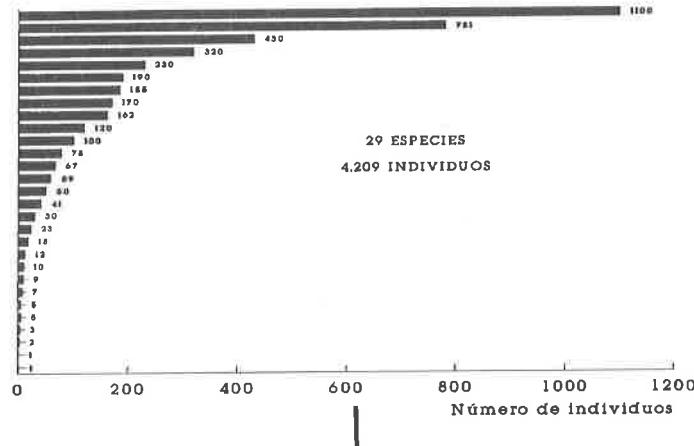


Fig. 31. En esta comunidad de insectos han aparecido 29 especies que están ordenadas de mayor a menor abundancia. Como se puede observar, hay muchas especies raras y pocas muy abundantes. Si construimos clases de abundancia siguiendo una progresión geométrica, es decir, entre 0 y 2 individuos, entre 2 y 4, entre 4 y 8, etc., observamos que el número de especies sigue una distribución Normal, es decir, que la mayoría de las especies están en las clases de abundancia intermedia.

Cuando se da esta distribución, si agrupamos a las especies en grupos o clases de abundancia, de modo que cada clase contenga el doble de individuos que la anterior, el número de especies se distribuye siguiendo una curva *Normal*. Para entender esto, hay que comprender antes algo de estadística.

Hay sucesos que tienen la misma probabilidad de ocurrir. Por ejemplo, las seis caras de un dado tienen la misma probabilidad de aparecer en cualquier tirada. Si tiráramos seis veces un dado y en cada ocasión apareciera una de las caras, la suma de los puntos sería  $6+5+4+3+2+1=21$  y la puntuación media sería  $21/6 = 3,5$ . Ahora bien, en la vida real, para conocer la probabilidad de un suceso son necesarias muchas repeticiones. En nuestro caso, podemos tirar cinco veces los dados y establecer una puntuación media. Para ello sólo tenemos que sumar todos los valores aparecidos y dividirlos por 5. Si realizamos muchas veces esta operación, tendremos muchos valores que son puntuaciones medias y esos valores tendrán una cierta variabilidad.

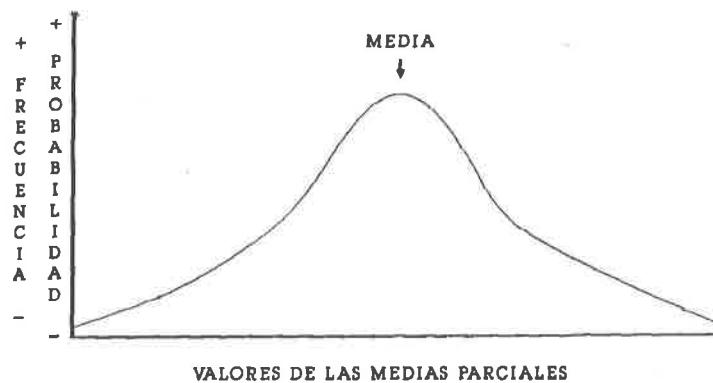


Fig. 32. Típica curva Normal en forma de campana.

Pues bien, si realizamos un histograma con las frecuencias con que han aparecido esos valores medios, ese histograma tendrá el máximo de valores alrededor de 3,5, la media teórica, y habrá pocos valores por debajo y por encima de esa media. En otras palabras, aunque tengamos sucesos igualmente probables, la distribución de frecuencias de las medias tendrá forma de campana (distribución Normal).

Este hecho se cumple, siempre que las muestras hayan sido tomadas al azar y constituye unos de los teoremas estadísticos más importantes: el *Teorema del Límite Central*. Como vimos antes, en Ecología se ha demostrado que la cantidad de especies presentes en la comunidad tiene una relación Normal, considerando el logaritmo de sus abundancias. Es lo que se denomina la distribución *lognormal* de las especies.

Se han examinado muchas comunidades y, con frecuencia, los datos se ajustan bien al modelo lognormal. Esto podría parecer una simple curiosidad, si no fuera porque nos permite predecir el número de especies que

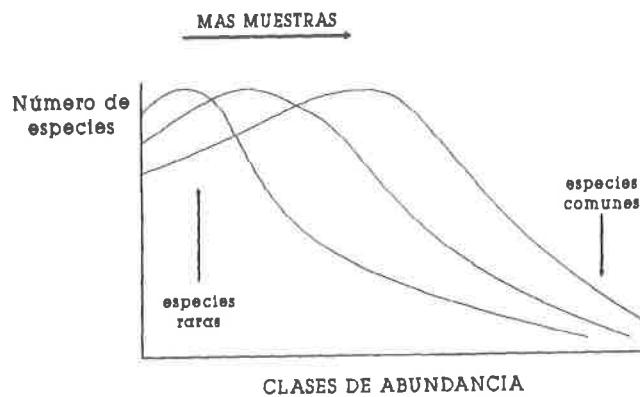


Fig. 33. A medida que aumentamos el muestreo, cada vez aparecen más especies raras y la distribución en campana se va corriendo hacia la derecha, dejando ver su parte izquierda.

debe de haber en una comunidad con una determinada abundancia.

En el caso de las puntuaciones de los dados, podemos saber qué cantidad de veces saldrá una puntuación media determinada y calcular la probabilidad de este suceso. En nuestro caso, podemos conocer el número teórico de especies que tienen que aparecer con una abundancia determinada y, por supuesto, el número total de especies esperado. Así, sabiendo las frecuencias de las especies abundantes, podemos conocer las frecuencias de las raras. En los estudios es muy posible que no se capturen las especies de menor abundancia, pero suponiendo la distribución lognormal, es posible calcular cuantas especies nos quedan por capturar.

Como vimos, el Teorema del Límite Central se cumple siempre que las muestras sean aleatorias: cada tirada de dados es independiente y no influye sobre el resultado de las otras. De igual modo, la abundancia de cada especie en una comunidad, o lo que es igual, su éxito en ese ambiente, no condiciona la abundancia de las demás. Las comunidades están influenciadas por numerosos factores independientes (luz, temperatura, humedad, etc.), y las especies se reparten el espacio y los recursos según sus adaptaciones a esos factores. La distribución lognormal se da porque no suele haber un único factor limitante, ni suele existir una única especie que monopolice los recursos. En realidad, muchos otros procesos producen también distribuciones de frecuencias de este tipo. Si hay pocos ricos, bastantes pobres y mucha clase media, la distribución de la riqueza entre las personas será también lognormal.

Hay controversia acerca de si la distribución lognormal significa algo desde el punto de vista biológico, o si es simplemente una consecuencia estadística inevitable, que aparece cuando usamos grandes muestras. Actualmente,

muchos ecólogos piensan que la distribución lognormal tiene un sentido biológico. Por ejemplo, siguiendo con nuestra hipotética isla, no parece lógico que ésta sea colonizada por todas las especies a la vez, ni que la primera especie en llegar se quede con la mayoría de los recursos. Es más razonable suponer que las primeras especies utilizarán unos recursos, pero que al llegar nuevas especies, se reduzca la gama y la cantidad de los recursos con posibilidad de usarse.

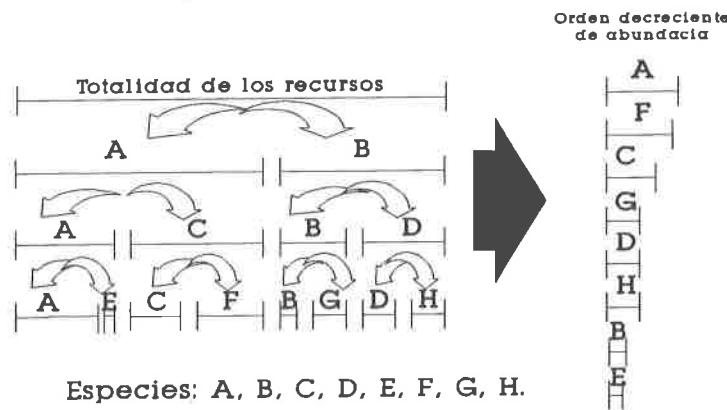


Fig. 34.

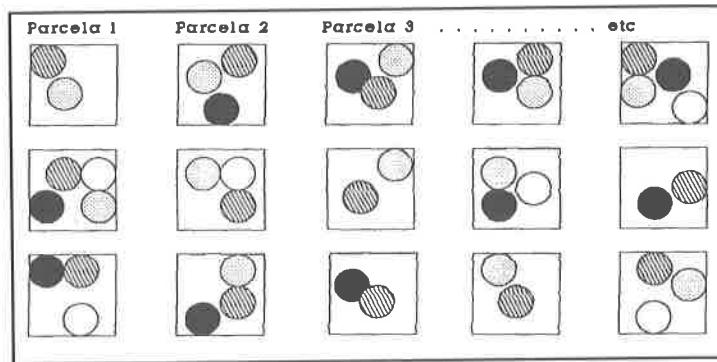
De este modo, si suponemos que las especies van llegando secuencialmente a la isla y que, a medida que ingresa una nueva especie, disminuyen los recursos y las poblaciones de las existentes, entonces aparece la distribución lognormal. Desde un punto de vista evolutivo, este patrón también resulta coherente: las especies van apareciendo secuencialmente y la generación de una nueva especie se produce por la subdivisión en dos de la especie anterior.

## LA DIVERSIDAD EN EL ESPACIO

En la literatura se han propuesto muchos índices que miden la diversidad de las comunidades. Unos han tenido mayor aceptación que otros, pero todos han tratado de expresar en un único valor numérico, la riqueza y la equitabilidad de las comunidades a la vez. No es que el intento haya sido vano pero, posiblemente se ha querido ser demasiado ambicioso. Se ha pretendido encontrar un índice que, con una sola cifra, exprese la complejidad de los ecosistemas y permita, además, hacer comparaciones entre diferentes sitios o entre distintas comunidades.

Si deseamos estudiar alguna comunidad, podemos decidir utilizar el índice de diversidad que más nos interese, pero lo más útil y a veces suficiente, es comenzar por conocer el número de especies y describir como se reparte la abundancia entre ellas. Si queremos hacer comparaciones entre comunidades, lo mejor es tomar la precaución de realizar idéntico esfuerzo de muestreo en todas. Así será más probable, que las diferencias en la riqueza o en las abundancias de las especies, se deban a razones ecológicas.

Supongamos que queremos saber la diversidad vegetal de un territorio, que tiene 1.000 metros cuadrados. Para ello examinamos la cantidad de especies vegetales distintas, que hay en pequeñas superficies de 10 metros cuadra-



HAY CUATRO ESPECIES: ● ○ ■ □

Fig. 35. En un ambiente homogéneo, hay prácticamente las mismas especies por todo el territorio y la diversidad aumenta poco con el tamaño del área. En este esquema, el territorio se ha dividido en 15 parcelas y en una sola pueden encontrarse las cuatro especies.

dos y, con esos datos, estimamos después la diversidad total. En este ejemplo, podríamos realizar hasta 100 mediciones locales de la diversidad. Es evidente que cuantas más parcelas de 10 metros cuadrados tengamos en cuenta, más se acercara a la realidad nuestra estima de la diversidad de todo el territorio.

Podría ser que en sólo 10 metros cuadrados, estuvieran presentes todas las especies del área. Esto ocurriría, por ejemplo, si el lugar en cuestión fuera un campo de cultivo, pero en la naturaleza rara vez se da algo así. Lo normal es que el número de especies se incremente con el tamaño del muestreo o del área. Tendríamos que esperar mucho tiempo hasta ver que todas las especies de un ecosistema pasan por un sólo punto.

De este modo, el número de especies que aparece en un estudio, es generalmente mayor cuanto más grande es el tamaño del área que estudiamos. De la misma forma, siempre suelen aparecer más especies, cuando examinamos más muestras. En ambos casos, al principio crece mucho el número de especies, pero después cada vez es más difícil encontrar nuevas especies, aunque examinemos más muestras o más sitios.

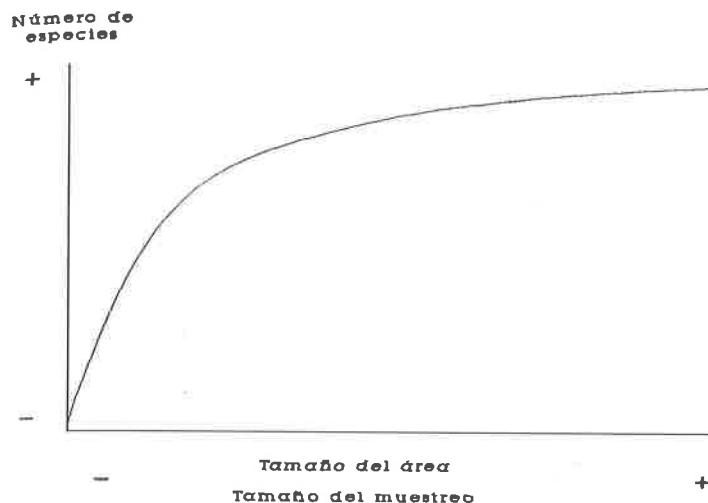
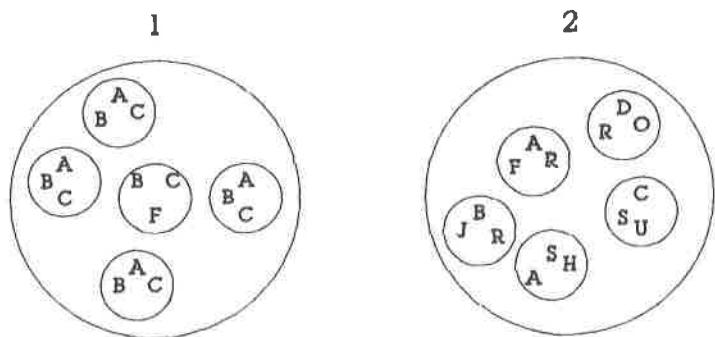


Fig. 36. Típico aumento de la riqueza con el tamaño del área o del muestreo.

Si quisiéramos realizar el muestreo de un comunidad, podríamos preguntarnos: ¿Cuantas muestras tomamos y qué superficie examinamos, para tener la seguridad de que aparecerán todas o la mayoría de las especies de la comunidad? Si elegimos un punto concreto en una laguna y averiguamos las especies de insectos que contiene, podemos dar una medida de la diversidad de ese punto, pero la verdad es que ese dato aislado es bastante pobre.

Esa diversidad podría variar con el tiempo o ser muy distinta en otro punto cercano. Entonces, ¿con qué seguridad podemos afirmar que la diversidad de insectos de esa laguna es la que hemos estimado? Para evitar estos inconvenientes, siempre es recomendable realizar varios muestreos espaciados en el tiempo y en el espacio. La suma de las diversidades de muchos puntos concretos, nos da una diversidad total del área y nos ofrece un visión muy interesante acerca de como se distribuyen especialmente las comunidades.



diversidad local: 3, 3, 3, 3, 3.  
diversidad total: 4 especies

diversidad local: 3, 3, 3, 3, 3.  
diversidad total: 11 especies

Fig. 37. Tanto en el área 1 como en la 2 hay cinco comunidades con tres especies cada una, pero la diversidad total es muy superior en el área 2 debido a que las especies se relevan en el espacio.

En algunas comunidades la diversidad total aumenta poco, a medida que tomamos en cuenta más diversidades puntuales o locales. En un pastizal no varían mucho las especies de una parcela a otra, así que con pocas muestras tenemos una buena estima de las especies que lo habitan. En una selva tropical se da la situación contraria: en una

parcela puede haber especies distintas que en otra cercana. Como consecuencia, la diversidad total del área va incrementándose, a medida que consideramos más diversidades locales. En un caso, las especies no se sustituyen en el espacio y, seguramente, no hay una gran variedad de ambientes. En el caso opuesto, las especies se sustituyen unas a otras a lo largo del espacio y, probablemente, el área tiene una gran variedad de ambientes.

Hemos visto como la palabra diversidad puede tener distintos significados. Es mejor diferenciar riqueza y equitatividad y no decir que una comunidad es más diversa que otra, únicamente porque tiene más especies. Además, la medición de la diversidad no es un asunto en el que estén de acuerdo los ecólogos. Hay muchos índices de diversidad en la literatura con propiedades distintas, que no exponemos aquí porque ello superaría la intención de este libro. Por si fuera poco, la diversidad varía con el tamaño del área o del muestreo, de modo que, a la hora de comparar, es necesario tener siempre presente este hecho.

Aislamos arbitrariamente un lugar en el espacio y en el tiempo y medimos en él la diversidad, pero las especies no están aisladas y las comunidades no poseen fronteras definidas. Probablemente el estudio de la biodiversidad, de su variación y de sus causas, es el principal objetivo de la Biología y, por supuesto, de la Ecología. Sin embargo, desgraciadamente, no disponemos de una herramienta milagrosa que la mida con un simple número. Es más, la naturaleza viva se organiza en estructuras tan complejas que, seguramente, nunca podremos medir de forma sencilla la complejidad de las comunidades.

## ¿POR QUE HAY BIODIVERSIDAD?

Es evidente por todo lo anterior, que es difícil comparar la diversidad de comunidades diferentes. Las comparaciones tienen que efectuarse generalmente, eligiendo sólo un grupo concreto de seres vivos, los métodos de captura y de estimación de las poblaciones tienen que ser similares, el número de muestras tomadas debería ser también parecido, los muestreos tendrían que considerar la variación de la diversidad con el tamaño del área, etc.

Corrientemente, no se suele ser tan puntilloso a la hora de realizar estimaciones de la diversidad, así que las comparaciones pueden no ser muy correctas en algunos casos. Sin embargo, la acumulación de datos procedentes de organismos muy distintos, ha permitido observar que hay algunas regularidades en la manera en que varía la diversidad.

Por ejemplo, la diversidad de los seres vivos suele ser más alta en el ecuador y disminuye conforme aumenta la latitud, es decir, a medida que nos acercamos a los polos. Aunque hay excepciones, este es un hecho bastante establecido, para el que todavía no se tiene una explicación satisfactoria. Se han propuesto muchos factores que podrían provocar un gradiente como este. Veamos algunos.

Una zona con distintos tipos de suelos y superficies tiene más especies de plantas, y un lugar con muchos tipos

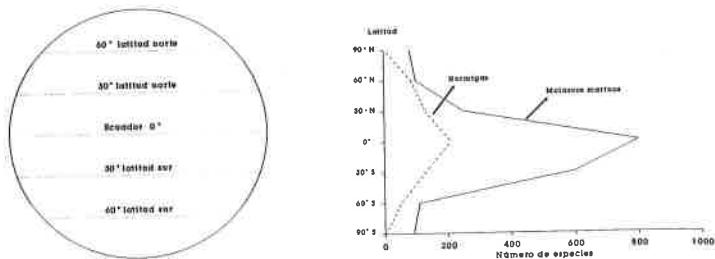


Fig. 38. Gradiante latitudinal de diversidad en dos grupos de animales.

de árboles alberga más especies de pájaros o insectos que un monocultivo. Cuantos más lugares distintos tenga un territorio, más especies diferentes puede albergar. El espacio tiene muchas parcelas desiguales y esa *heterogeneidad ambiental* aumenta la diversidad. El alimento disponible, la luminosidad, la temperatura o la textura del

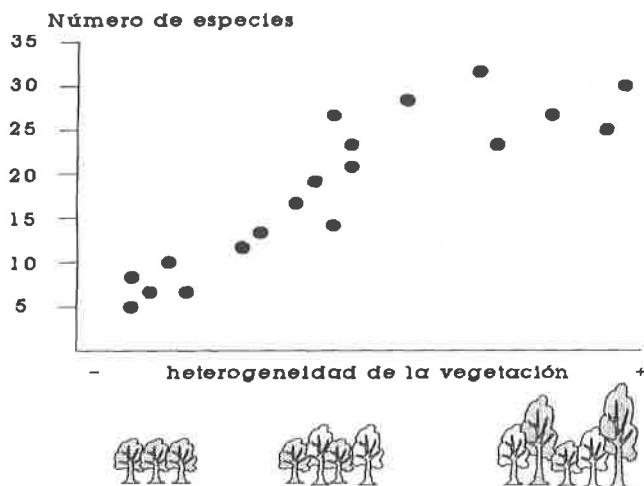
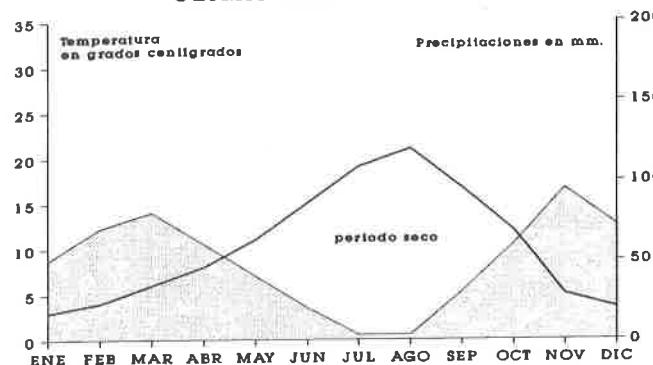


Fig. 39. Aumento del número de especies de aves con la heterogeneidad de la vegetación. Esta se ha medido según la variedad de alturas de las plantas.

suelo, puede diferir de un lugar a otro cercano y eso permite que habiten especies que tienen preferencias distintas. Esta podría ser la causa de que haya más especies en un territorio grande que en uno pequeño y de que, cuando hay una gran variedad vegetal como en los trópicos, la diversidad de especies animales sea superior.

### CLIMA MEDITERRANEO



### CLIMA ECUATORIAL

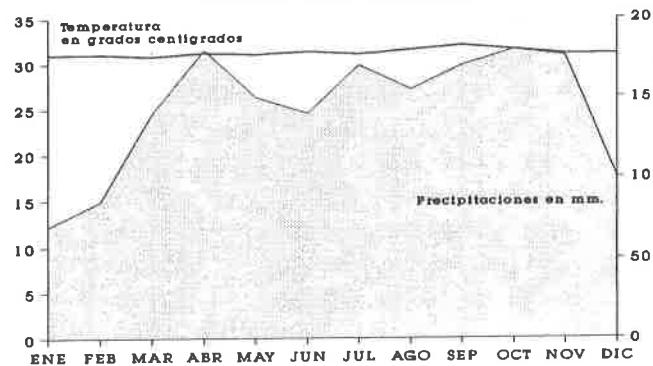


Fig. 40. El clima es mucho más cambiante en una localidad mediterránea, ya que el período seco coincide con un aumento de la temperatura.

Una de las causas principales de que la diversidad sea menor en las latitudes altas es, probablemente, la *inestabilidad climática*. Si al agua se le añade barro, su aspecto turbio se aclara poco a poco, a medida que las partículas en suspensión se van sedimentando en el fondo. Ahora bien, si periódicamente agitamos la mezcla, impedimos que se produzca este proceso. Un clima que varía mucho a lo largo del año o un ambiente que se modifica periódicamente, produce un efecto perturbador similar sobre la diversidad.

Para que un ser vivo colonice con éxito un lugar con cambios climáticos estacionales, debe de tener una fuerte tolerancia. Debe de ser capaz de vivir con frío y con calor. De lo contrario, tendrá que aparecer sólo en una época muy determinada. Por eso, en los lugares con un clima cambiante, es más probable encontrar comunidades compuestas por especies diferentes según la época del año. Es decir, que las especies se repartan a lo largo del tiempo según sus preferencias climáticas.

En los lugares de clima inestable, también es más probable que encontremos especies que son buenas colonizadoras. Especies muy tolerantes y poco especializadas, capaces de sobrevivir a una mayor gama de condiciones ambientales. De este modo, los ambientes de clima inestable favorecen la presencia de especies adaptadas a condiciones muy variadas, mientras que los ambientes de clima estable, como los trópicos, favorecen la presencia de especies con adaptaciones más especializadas.

Es lógico que puedan coexistir juntas más especies, si éstas son especialistas y cada una se limita a consumir un tipo particular de recurso. Si, por el contrario, las especies pueden comer de todo o vivir a temperaturas muy distintas, forzosamente tendrán que competir en muchas ocasiones. Parece inevitable que no puedan coexistir juntas muchas especies de este tipo. Esta podría ser la

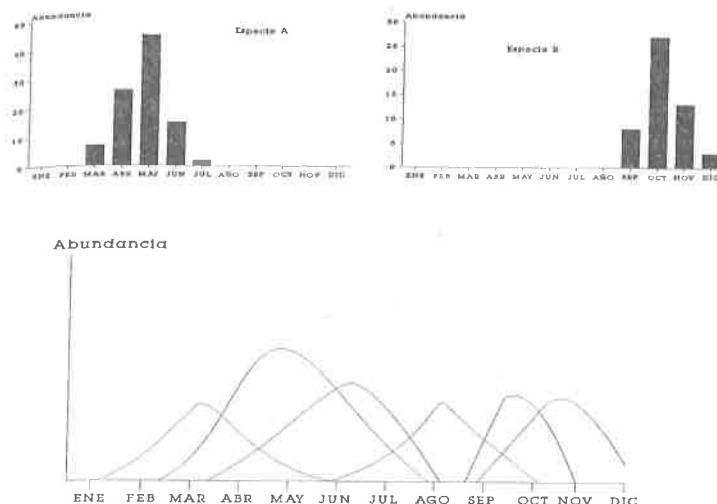


Fig. 41. La especie A aparece sólo en primavera, mientras que la especie B lo hace en otoño. Bajo un clima mediterráneo, las distintas apariciones estacionales de las especies pueden producir un relevo a lo largo del año.

razón de que la diversidad sea mayor cuando el clima es estable.

De este modo, la riqueza en especies puede disminuir si el ambiente es inestable. Sin embargo, la cuestión no está tan clara, ya que algunas inestabilidades parecen que aumentan la diversidad. Veamos.

Generalmente se ha creído que los ecosistemas tropicales eran muy estables, no sólo climáticamente, sino en todos los sentidos. Actualmente tenemos muchos más datos y la cuestión no está tan clara. En la selva también se producen modificaciones del medio. Los ríos, que discurren lentamente, cambian de cauce con frecuencia e inundan o generan nuevas tierras. Las poblaciones de insectos arrasan periódicamente pequeñas parcelas y hay tal cantidad de plantas parásitas, o que utilizan los troncos

de los árboles como sujeción, que es frecuente la muerte y caída de un árbol por su causa. Estos factores y otros, cambian el ambiente constantemente y dan cierta inestabilidad. Pero estos cambios, seguramente favorecen el aumento de la diversidad, ya que producen nuevos lugares y recursos para aquellas especies pioneras que colonizan rápido las nuevas zonas.

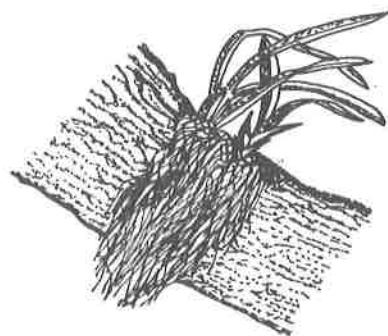


Fig. 42. Una orquídea epífita o que utiliza a otra planta como soporte.

Cuando hay poco alimento disponible, sólo las especies poco selectivas pueden sobrevivir. Por el contrario, cuando abundan los recursos, encontramos muchas especies exigentes, que están especializadas para consumir un tipo muy particular de alimento. De este modo, los ecosistemas que tienen un mayor *producción de recursos*, deberían tener una mayor cantidad de especies.

Desde los polos al ecuador, aumenta la temperatura media, la luminosidad o la cantidad de días favorables para el crecimiento vegetal. Por estas razones, los bosques tropicales producen una mayor cantidad de materia vegetal que los bosques templados y, por eso deben de tener más especies de herbívoros. En los desiertos, por ejemplo,

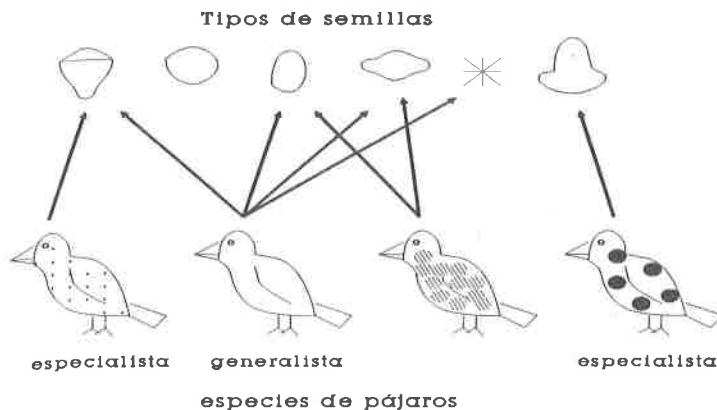


Fig. 43. Puede haber especies generalistas y especialistas según el uso que hagan de los recursos. Si disminuyen los tipos de semillas, es decir, si disminuye la gama de recursos, siempre se ven desfavorecidas las especies especialistas.

se ha comprobado que el número de especies de lagartijas, de hormigas y de roedores es mayor en las áreas con una productividad vegetal mayor.

Sin embargo, los ecólogos han constatado también en numerosas ocasiones, que los ambientes muy productivos no tienen más especies. Las tierras, los lagos o los ríos sometidos a una intensa fertilización, aumentan su productividad pero disminuyen su diversidad. De hecho, la vegetación de los matorrales de Sudáfrica o las comunidades animales de los fondos marinos, están entre las más ricas en especies y, sin embargo, se presenta sobre suelos o áreas muy pobres en nutrientes. ¿Por qué se produce esto?

No tenemos una respuesta convincente todavía. Tal vez el aporte exagerado de nutrientes, hace que crezcan mucho las poblaciones de unas pocas especies, y que éstas desplacen a los individuos de las otras. Así, parece llegar a la conclusión de que la mayor diversidad, o la

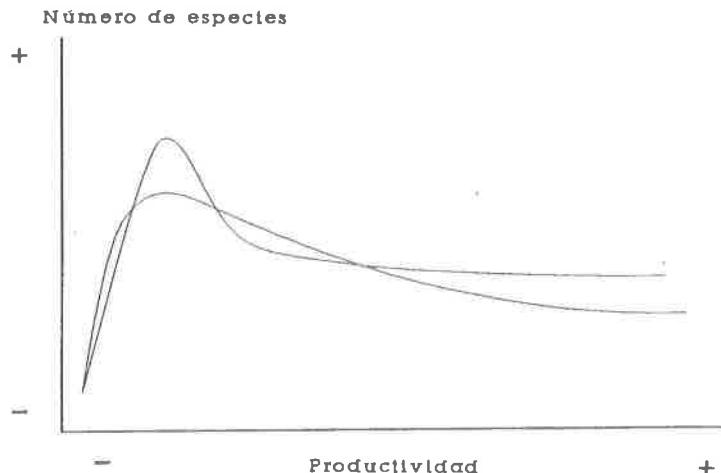


Fig. 44. Dos curvas que reflejan el modo en que variaría la diversidad con la productividad.

mayor riqueza en especies, se da cuando la productividad no es ni muy grande ni muy pequeña.

Hay otra razón fundamental para que aumente la diversidad con la producción de recursos y es que no sólo importa la cantidad sino la calidad. La diversidad puede ser mayor si hay más recursos, pero sobre todo aumenta si hay una mayor gama de recursos. Puede que haya más especies de pájaros en un bosque si hay más producción de semillas, pero lo más probable es que sólo haya mayores poblaciones. Sin embargo, si hay muchos tipos de semillas distintas es seguro que habrá más especies. De este modo, aumentar la cantidad no significa aumentar la gama de recursos.

Imaginemos una pecera en la que se desarrollan cinco especies de algas. Nosotros echamos en ella dos gramos de cuatro nutrientes básicos y luego incrementamos la dosis a diez gramos de cada nutriente. Hemos aumentado

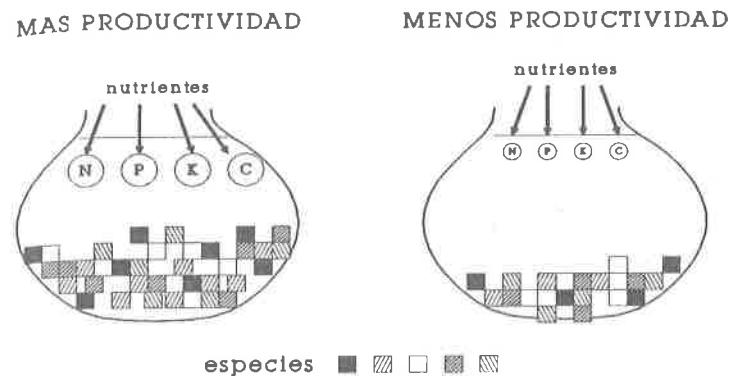


Fig. 45.

la concentración media de los nutrientes, pero la gama de nutrientes sigue siendo la misma (cuatro). Este incremento de la concentración, produce un aumento de las poblaciones, pero no de la diversidad. Como las especies de alga son distintas y tienen distintos requerimientos, podemos suponer que cada una de ellas necesita concentraciones diferentes de los nutrientes. Si introducimos un nuevo nutriente en la pecera, damos la posibilidad de que sobreviva una nueva especie de alga. En cambio, si aumentamos la productividad, introduciendo dosis de nutrientes todavía mayores, no incrementamos el número de nutrientes distintos y no permitimos que haya un número mayor de especies. Si medimos la productividad por el peso de las algas producidas, tendremos que a más productividad no hay más diversidad.

Sin embargo, hay un caso en el que un aumento de la cantidad de nutrientes y de la productividad sí puede incrementar la diversidad. Si hubiera una especie que necesitara obligatoriamente para subsistir, una dosis mínima de alguno de los nutrientes, tal vez la concentración inicial no fuera suficiente pero la final sí. De este modo,

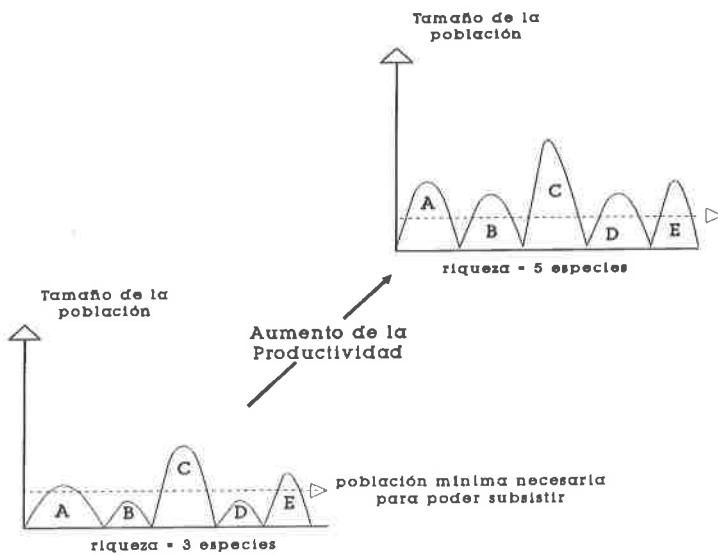


Fig. 46. Las especies B y D no tienen poblaciones suficientemente grandes como para poder subsistir, pero al aumentar los recursos y la productividad, pueden tener poblaciones mayores y subsistir. Como consecuencia, el número de especies pasa de 3 a 5.

podría aumentar el número de especies a más concentración de nutrientes.

En otras ocasiones la diversidad puede no estar relacionada con las características actuales de un área, pero sí con su pasado. Por ejemplo, se piensa que cuanto mayor es la edad de una comunidad o de un ecosistema, mayor es su diversidad. Las especies que viven actualmente en el norte de Europa, colonizaron este territorio después del deshielo de la última glaciación, hace unos 8.000 años. Debido a ello, estas comunidades habrían tenido menos tiempo para estructurarse que las del sur de Europa y éstas a su vez, menos que las de los trópicos. Es como si las

comunidades septentrionales tuvieran «huecos»: espacios y recursos que podrían ser utilizados por más especies en un futuro y que, actualmente, son usados menos eficazmente sólo por unas pocas especies.



Fig. 47. Situación del planeta durante el apogeo de la última glaciación.

En Europa hay un número menor de especies de árboles que en Norteamérica. Esto se atribuye a que, tras la retirada de los hielos, la recolonización de Europa fue más difícil. En Europa las cadenas montañosas son transversales (Alpes, Pirineos) y, cuando el clima se enfrió, las poblaciones fueron empujadas hacia el sur. En su retirada se encontraron con las montañas y algunas poblaciones se extinguieron al no poder atravesarlas. Cuando el clima mejoró, las poblaciones se dirigieron hacia el norte y, al encontrarse de nuevo con las montañas, algunas volvieron a extinguirse. Sin embargo, en su paso hacia el norte, algunas poblaciones quedaron refugiadas y aisladas en las zonas más elevadas, que reproducían las condiciones

climáticas frías anteriores. Estos acontecimientos no se producen, si las cadenas montañosas son longitudinales como en Norteamérica, ya que las poblaciones del norte pueden desplazarse hacia el sur ascendiendo por las montañas.

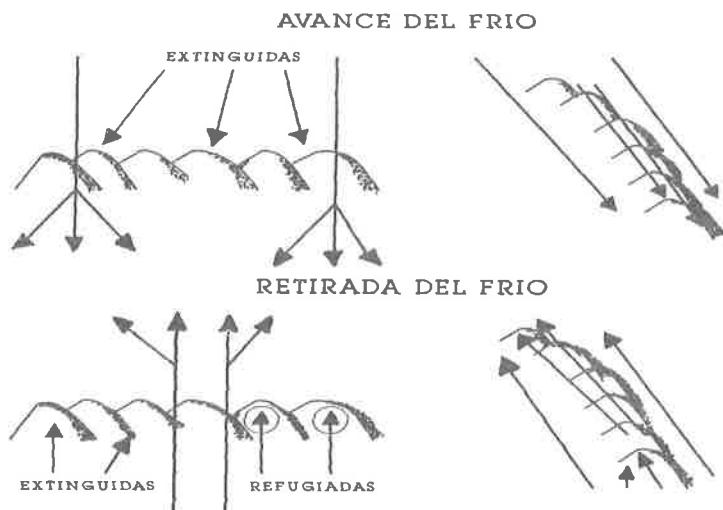


Fig. 48.

Ahora hay dudas acerca de que la diversidad tropical se deba a esta causa. Antes se pensaba que las glaciaciones apenas ejercieron efecto sobre los trópicos y que las comunidades tropicales eran mucho más antiguas que las comunidades templadas. Cada vez hay más evidencias de que el clima cambió en toda la Tierra y de que en todos los sitios se manifestaron sus efectos. Por ejemplo, las extensas zonas de selva amazónica, se redujeron a unas cuantas manchas aisladas rodeadas de pastizales, durante el apogeo de la última glaciación (hace 18.000 años).

No sólo hay que hablar de grandes lapsos de tiempo. Durante el proceso de colonización de una isla o del claro

de un bosque tras un incendio, las especies van sucediéndose unas a otras a lo largo del tiempo (*sucesión*). Si hace poco tiempo que apareció este nuevo territorio, muchas especies ni siquiera habrán tenido tiempo de llegar. Por ello, un lugar que ha sido colonizado hace más tiempo, suele tener más especies. Del mismo modo, un área con parcelas que están en distintos momentos de sucesión, albergará más especies que otro área homogénea.

En la sucesión no aumenta la riqueza, sólo porque se vayan añadiendo especies. Es también un proceso de sustitución. Al principio aparecen las especies capaces de tolerar muchas circunstancias. Después, poco a poco, éstas van siendo sustituidas por otras más especializadas. La llegada sucesiva de especies cambia el medio y lo hace cada vez más heterogéneo, lo que permite la existencia de una mayor diversidad. Además, la temperatura, la humedad o los nutrientes, van dependiendo más y más de las propias especies y no varían ya tanto como al principio. Por ello, se supone que a medida que transcurre la sucesión, el ambiente se vuelve cada vez más estable y ya hemos visto que la estabilidad promueve la diversidad.

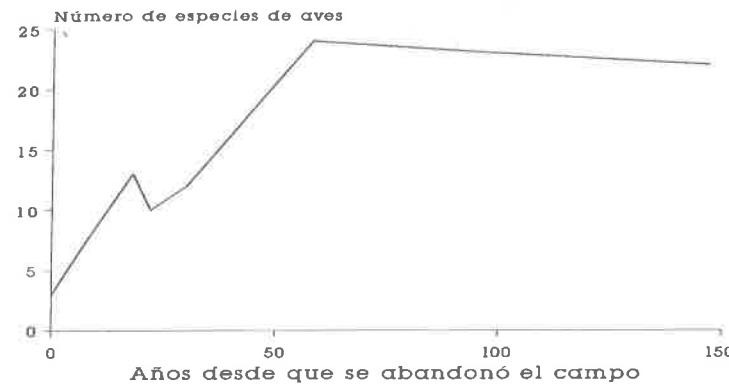


Fig. 49. En un campo de cultivo abandonado, el número de especies de aves que nidifican va aumentando con el tiempo.

Todas estas razones pueden ayudar a explicar la diversidad de los trópicos o de cualquier otro sitio. Sin embargo, para las selvas tropicales se han propuesto además algunas explicaciones particulares.

Una buena parte de la responsabilidad de la alta biodiversidad tropical la tienen los vegetales. Si hay una gran variedad de árboles, puede mantenerse una gran variedad de herbívoros y, por tanto, también de carnívoros. En las regiones tropicales existe una mayor gama de tipos vegetales: en una hectárea pueden llegar a coexistir 300 especies de árboles distintos, aunque lo normal es que haya entre 50 y 100 especies diferentes. Por el contrario, en todo un bosque templado es raro encontrar más de una docena de especies distintas de árboles. Además, en los trópicos los árboles de una misma especie están muy separados entre sí. Esto a dado pie a pensar que, tal vez, la presencia de un árbol excluya a otros de su misma especie de los alrededores. ¿Cómo podría ocurrir esto? ¿Por qué existe esa diversidad de árboles? Se han barajado varias posibilidades.

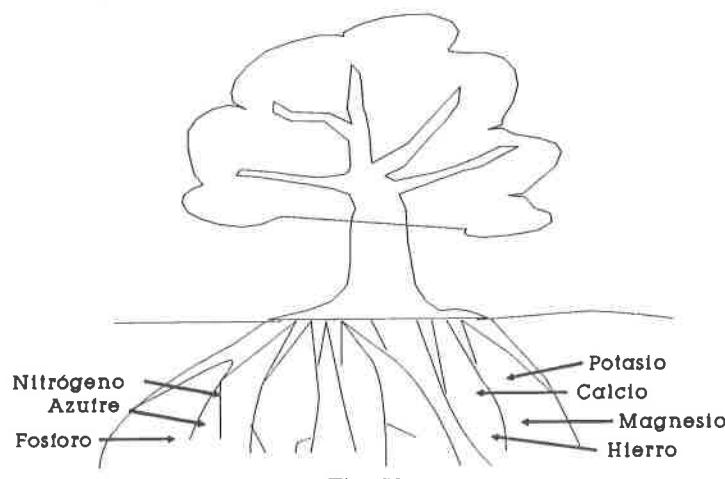


Fig. 50.

Para el crecimiento vegetal son imprescindibles algunos nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.). El suelo de las selvas tropicales es muy pobre en estos nutrientes, porque prácticamente todos están en los árboles. Cuando muere un árbol, éste se descompone rápidamente y los nutrientes que llegan al suelo tardan muy poco en ser utilizados por otros árboles. Por eso, cortar bosques tropicales para implantar cultivos agrícolas es muy poco rentable. Las intensas lluvias arrastran rápidamente los nutrientes y los suelos se empobrecen rápidamente ya que, al contrario que en los bosques templados, el humus o mantillo es una capa muy delgada.

En este contexto, se ha propuesto que si cada especie de árbol tropical tuviera unas necesidades de nutrientes muy específicas, sería imposible que cerca de un individuo creciera otro por falta de nutrientes. De modo que, sólo al morir un árbol, podría crecer otro de la misma especie en los alrededores. El resultado final es que habría muchas especies de árboles distintos, pero con individuos muy separados entre si.

Otro de los mecanismos propuestos para explicar la diversidad de árboles tropicales, considera la acción de los animales. En los bosques tropicales parece que hay un gran y rápido consumo de las semillas por parte de los animales. Además, cada especie de árbol tiene sus propios depredadores especializados. Si el consumo de semillas es mucho más intenso en donde hay más, es decir, alrededor del árbol, resultaría que no germinarían retoños cerca de un árbol y si lejos de él, donde los especializados consumidores de esas semillas tuvieran que gastar mucho tiempo para encontrar una. En este caso, la acción de los animales sería un factor clave a la hora de explicar la diversidad vegetal de los trópicos.

En los ecosistemas tropicales, también se ha postulado que hay relaciones circulares entre las especies. Por

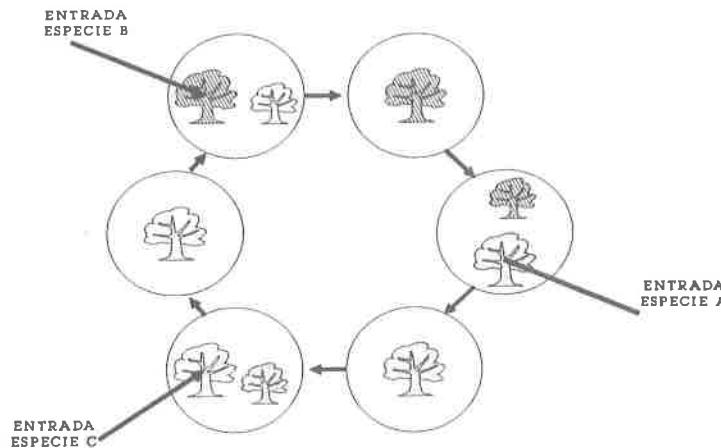


Fig. 51.

ejemplo, la especie A es superior a la especie B en el uso de los recursos del medio, la especie B es superior a la C y la excluye cuando se presentan juntas, pero la C es superior a la especie A. Si se dan estas relaciones circulares, las especies se van relevando a lo largo del tiempo. De un lugar sólo con A, pasamos paulatinamente a otro con C, que después domina la especie B y más tarde de nuevo la A, recomendando el ciclo. Estas relaciones circulares pueden abarcar a muchas especies y mantendrían la diversidad tropical pero, de ser frecuentes, tendríamos que averiguar si sólo se dan en los trópicos.

En realidad, la diversidad se modifica en muchos gradientes. Varía con la latitud, pero también lo hace con la altitud o con la profundidad en el mar. Las dificultades a la hora de explicar la variación latitudinal de la diversidad, son las mismas en el caso de la altitud o la profundidad, y la mayoría de los factores mencionados anteriormente, pueden ser responsables también en estos casos. Sin embargo, hay algunas peculiaridades. Las comunida-

des que viven en las zonas más elevadas de las montañas, están muy aisladas y tienen que habitar en áreas muy pequeñas. Ello seguramente hace que la diversidad disminuya más de lo normal con la altura.

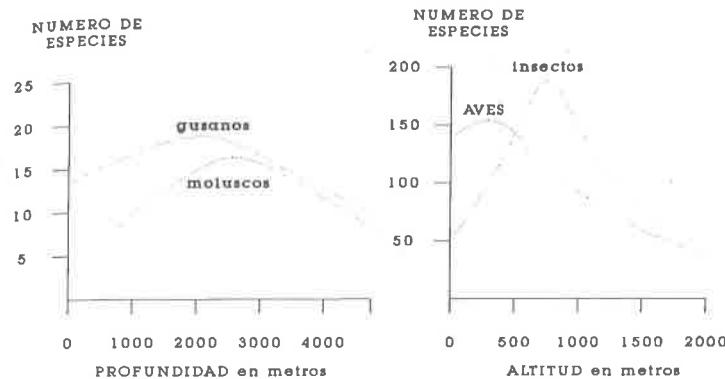


Fig. 52. Variación del número de especies de gusanos marinos y moluscos con la profundidad, y de las aves y un grupo de insectos con la altura.

En mar abierto, la diversidad del plancton, es decir, la diversidad de los animales y plantas que flotan a la deriva, disminuye rápidamente con la profundidad. La pérdida paulatina de luz con la profundidad, es el principal responsable de este gradiente. Sin embargo, en los años sesenta se descubrió que la diversidad de los animales y plantas que viven fijos al fondo (el bentos), es máxima a unos 2.000 metros de profundidad y después decrece a medida que la luz y el alimento desaparecen. Aproximadamente a 2.000 metros de profundidad, se sitúa el final de la plataforma continental, o lo que es igual, de la zona marina que rodea los continentes. ¿Cómo puede ocurrir una cosa así?

En el fondo de la plataforma continental, el clima, la temperatura y el alimento apenas varían con el tiempo. En

realidad, puede decirse que sus condiciones ambientales han debido ser muy similares durante millones de años. Esta estabilidad no existe, probablemente, en ningún otro lugar del planeta y ha debido de favorecer un incremento constante de la diversidad. En tierra firme y en las zonas marinas costeras, el clima ha cambiado muchas veces, facilitando la supervivencia de algunas especies y extinguiendo otras. Pero en el fondo de la plataforma continental no ha habido cambios ni extinciones. Este es un buen ejemplo de que cuanto mayor es la edad de un ecosistema, mayor es su diversidad.

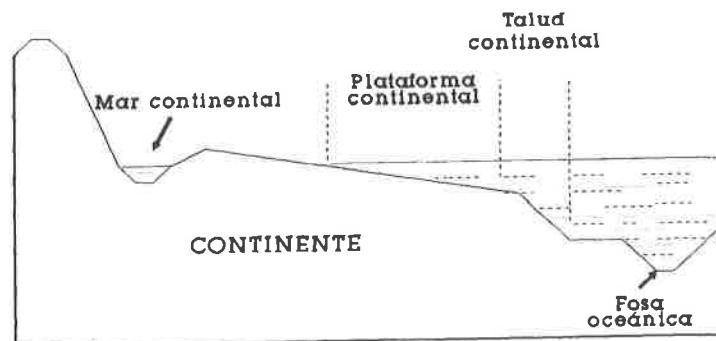


Fig. 53. Ubicación de plataforma continental.

Cuando se ha estudiado la variación del número de especies con la altura, se ha observado también que, a veces, se produce un incremento de la diversidad a altitudes intermedias. No cabe duda de que el hombre es un elemento que modifica rápidamente el medio, aumenta la inestabilidad de los ecosistemas y extingue especies. Como nuestra presencia se deja notar sobre todo en los valles, hemos incrementado allí la tasa de extinción y, seguramente por eso, aparece el máximo de diversidad a alturas intermedias.

Aquí tenemos una nueva manera de explicar las diferencias y los gradientes de la diversidad: las zonas que tienen menos especies son aquellas que han sufrido más extinciones. Las probabilidades de extinción son mayores en unas zonas que en otras y en cada sitio, el número de especies presentes, es el resultado de un balance entre la tasa de generación de especies y la tasa de extinción. Habría más especies a media altura de las montañas, en las zonas tropicales o en el fondo marino, porque habrían sufrido menos extinciones.

Como vemos, las causas explicativas pueden ser múltiples. Tal vez, todas actúen conjuntamente o, tal vez, queden por descubrir muchas otros mecanismos capaces de explicar la biodiversidad de los trópicos o de cualquier otro lugar. Actualmente sabemos muy poco acerca de porqué varía la diversidad. Las fuerzas que los ecólogos han propuesto, actúan a menudo en sentidos contrarios y es muy difícil emitir una opinión basada en hechos. Si supiéramos cómo se genera la biodiversidad, podríamos establecer estrategias de protección consecuentes. Así que, como no lo sabemos con certeza, deberíamos cubrirnos las espaldas, protegiendo más de lo que nos parezca necesario.

## LA FUERZA DEL PRESENTE: LUCHANDO Y HUYENDO

¿Por qué hay un número determinado de especies en un territorio? ¿Por qué están esas especies y no otras? Contestar esas preguntas sigue siendo todo un reto y para ello hay que analizar el posible papel ejercido por muchos factores distintos, tal y como hemos visto anteriormente.

Para enfrentarse a este problema, la Ecología posee además una serie de conocimientos, que ha adquirido estudiando el funcionamiento actual de las comunidades. Las comunidades son el lugar en donde se producen las interacciones entre las especies y entre éstas y el medio. Son el escenario en donde, poco a poco, deben de suceder los acontecimientos que generan las regularidades que ahora estudiamos. Si ahora reconocemos algunas propiedades en el medio ambiente, es porque éstas se han producido y deben de seguir produciéndose en las comunidades.

Es de suponer que las causas que condicionan la diversidad de las comunidades, han debido ser siempre las mismas. Por eso podemos saber bastante sobre esas causas, estudiando las comunidades actuales.

Los ecólogos han dicho desde hace tiempo, que en una comunidad no pueden coexistir un número ilimitado de especies. El medio ambiente sólo puede mantener a un número determinado de individuos y de especies. Según

esto, la diversidad de una comunidad tendría siempre un tope. ¿Es esto cierto?

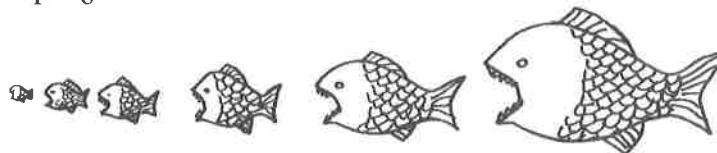


Fig. 54.

Como ya sabemos, cuando se sitúan unos pocos individuos de una especie en condiciones favorables, se produce un aumento acelerado de la población hasta que, cuando ya no hay suficiente espacio y alimento para todos, se detiene ese aumento. Si representamos gráficamente este suceso, aparece una típica curva en S o *curva sigmoidea*. Pues bien, algunos ecólogos interesados por las matemáticas, habían estudiado desde hace tiempo estos crecimientos de las poblaciones y se habían preguntado

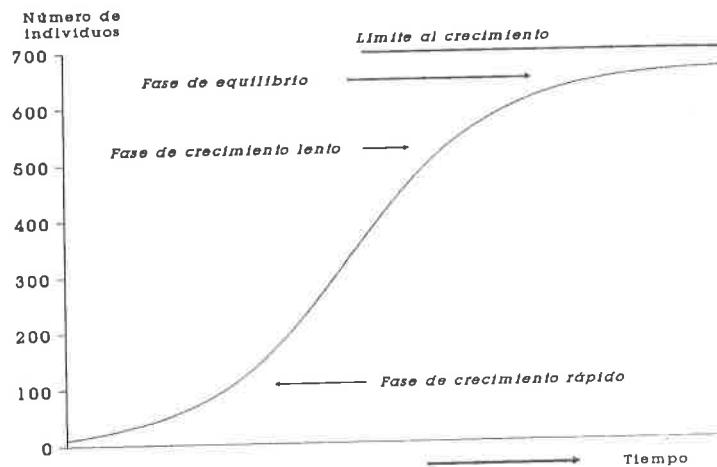


Fig. 55. Crecimiento típico de una población bajo condiciones controladas.

tado que ocurriría si dos especies competidoras vivían juntas. Sus ecuaciones decían que, o bien se producía la desaparición de una especie, o bien ambas coexistían.

Ya en el laboratorio, se comprobó experimentalmente qué pasaba cuando dos especies compiten por un mismo recurso. Gause, un ecólogo ruso, estudió en los años 30 los efectos de la competencia con tres especies de Paramecios, unos animales unicelulares que viven en el agua y se alimentan de bacterias. Cuando cualquiera de las tres especies vivía sola, sus poblaciones crecían como era típico: primero rápido y luego cada vez más lentamente. Pero si se juntaban dos de las especies, una de ellas era eliminada. No siempre ocurría esto cuando se reunían dos especies distintas. En otras ocasiones las dos especies podían subsistir juntas, aunque con menores poblaciones que cuando vivían aisladas. Esta coexistencia se daba, por ejemplo, cuando las especies se alimentaban de bacterias distintas.

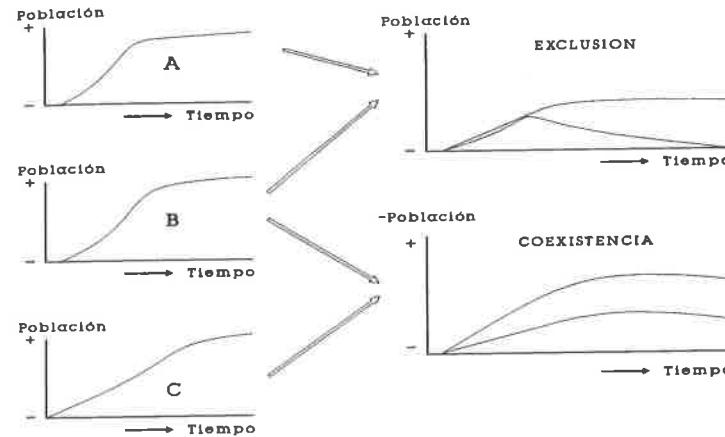


Fig. 56. Las tres especies aumentan sus poblaciones con el tiempo hasta un límite. Cuando se juntan las especies A y B, se produce la exclusión competitiva de una de ellas. Por el contrario, cuando se juntan las especies B y C se produce coexistencia.

Generalmente, las especies similares compiten por los recursos y la presencia de una especie, puede reducir la abundancia, la fecundidad o la supervivencia de las otras. La competencia no debe ser entendida como una agresión directa entre las especies. Más bien, la competencia se produce indirectamente: una especie consume los recursos que otra necesita.

Han sido realizados muchos estudios de animales y plantas. Por ellos se sabe que, cuando dos especies compiten por los mismos recursos, una de ellas puede excluir a la otra o, en cambio, ambas logran coexistir. ¿Cuándo se produce la exclusión y cuando la coexistencia?

Antes de intentar contestar a esta pregunta, es conveniente entender un modelo que permite comprender bastante bien, la interacción entre las especies y su medio ambiente: el modelo del *nicho*.

Imaginemos que investigamos el rango de temperaturas a las que es capaz de vivir un vegetal. Nosotros podríamos medir eso, por ejemplo, estimando el número medio de semillas que produce cada planta, o examinando el porcentaje de supervivencia de distintas plantitas según la temperatura. El resultado sería, probablemente, una curva normal. Esta planta tendría una temperatura óptima, en la que se desarrollaría muy bien y, por encima y por debajo de esa temperatura, la supervivencia sería cada vez más difícil.

Lo mismo podríamos hacer con otras variables como la humedad, la concentración de nutrientes, la luminosidad, etc. Podríamos estudiar esto también en otras especies similares y representar a la vez, en un gráfico bidimensional, el rango de temperaturas y de luminosidad que soporta cada una. Evidentemente, puede haber temperaturas en las que se desarrolle bien varias especies a la vez. En este caso, las especies solaparían en parte del

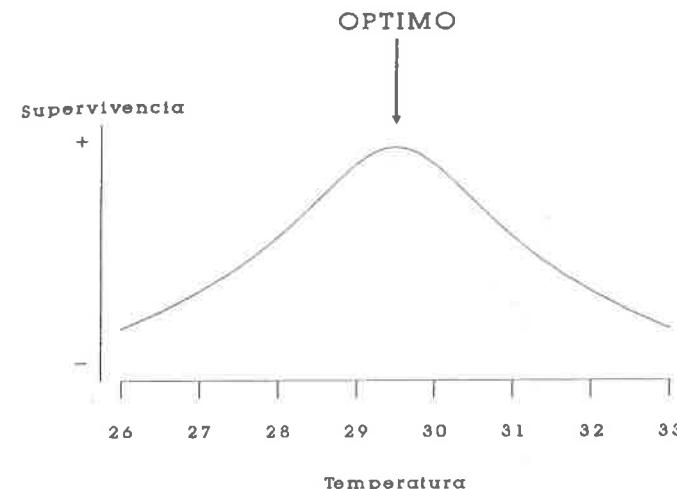
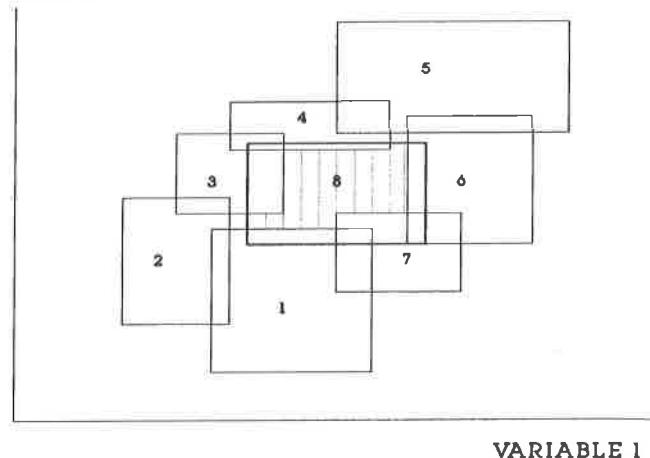


Fig. 57. Esta especie tiene su temperatura óptima entre los 24 y los 30 grados. Por debajo y por encima de esa temperatura la supervivencia disminuye poco a poco.

rango de la variable temperatura. Pues bien, es en esa zona de solapamiento en donde es más probable que se produzca competencia.

Del mismo modo, podríamos representar en un gráfico tridimensional, el comportamiento de estas especies respecto a tres variables. Es este caso, cada especie tendría un volumen determinado en el espacio delimitado por esas tres variables. Pasaríamos de tener dos dimensiones a tener tres. Pues bien, como las variables que pueden influir son numerosas, podemos imaginarnos que cada especie ocupa un espacio delimitado por muchas variables, un espacio  $n$ -dimensional. Aunque nuestro cerebro no pueda concebirlo, ni tampoco podamos representarlo gráficamente, ese espacio  $n$ -dimensional definido por las variables que influyen sobre una especie, es lo que se denomina el *nicho* de esa especie.

## VARIABLE 2



## VARIABLE 1

Fig. 58. Las especies tienen todas un nicho potencial, pero la exclusión competitiva con otras especies disminuye ese nicho potencial y lo convierte en un nicho real que es menor. En este esquema, la especie número 8 tienen un nicho potencial (en línea gruesa) menor que el real (con líneas discontinuas).

Cada especie tiene su propio nicho. En algunos casos, esos nichos serán muy amplios y la especie podrá vivir en condiciones muy diversas. Los nichos pueden ser también muy estrechos y entonces la especie está restringida a vivir en unas condiciones muy limitadas. Los ecológicos han intentado comprobar, si las especies con nichos amplios son las que más abundan en las comunidades y las que tienen distribuciones geográficas mayores. Parece que en la mayoría de las ocasiones, las especies que tienen grandes poblaciones y dominan las comunidades, suelen caracterizarse por poseer nichos amplios. Esto es muy importante.

Todas las especies intentan tener el máximo número de descendientes posibles, pero es su nicho el que deter-

mina si sus poblaciones serán grandes o no. Tener un gran nicho ofrece muchas posibilidades de subsistencia y la mortalidad antes de la procreación es menor. En cambio, tener un nicho pequeño disminuye las posibilidades de supervivencia y ofrece pocas oportunidades. Da igual que produzcas muchos o pocos descendientes, lo que importa es que tengan muchas posibilidades de sobrevivir en la lucha de la vida. Esto nos lleva a otra consideración: la abundancia de las especies esta condicionada por el medio. Si el medio varía, puede que disminuyan las oportunidades para unas especies, pero aumentaran las de otras y, entonces, sus poblaciones serán más abundantes.

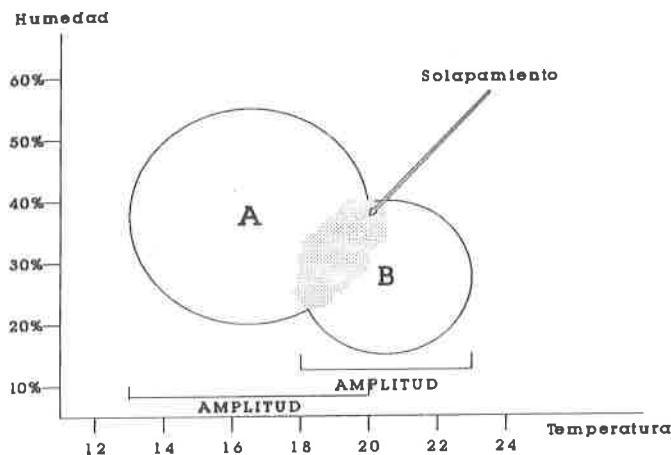


Fig. 59. La especie A soporta un rango de temperaturas entre los 13 y los 20 grados. La especie B entre los 18 y los 23. Por eso la especie A tiene una mayor amplitud de nicho en la variable temperatura. La especie B, en cambio, es capaz de soportar temperaturas mayores y humedades inferiores que la A. Las dos especies pueden vivir entre los 18 y 20 grados y entre el 20 % y el 40 % de humedad (área de solapamiento). Si se encuentran juntas en un lugar con estas condiciones, puede producirse competencia.

El nicho de cada especie es, de este modo, un hipervolumen en ese espacio n-dimensional. Como es lógico, no es posible que dos especies tengan el mismo nicho. Eso significaría que tendrían idénticas adaptaciones al medio y, por tanto, deberían de ser la misma especie. Sin embargo, sí es posible que el nicho de una especie sea mayor e incluya el de otra. En ese caso, la especie con el nicho más amplio excluiría a la del nicho menor e incluido. Si se produce la coexistencia entre varias especies, es que sus nichos difieren en algo. Las especies que conviven juntas en cualquier comunidad, deben forzosamente de diferir en el uso que hacen del medio. Hoy, si encontramos algunas especies parecidas conviviendo, no nos preguntamos cuánto deben de estar compitiendo, sino cómo consiguen no competir.

#### VARIABLE 2

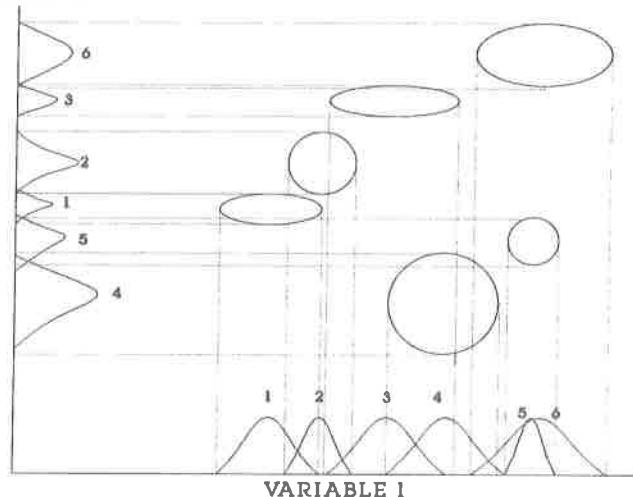


Fig. 60. En esta representación del nicho de seis especies, vemos que sobre cualquiera de las dos variables hay especies que solapan, pero en la proyección bidimensional no hay solapamiento entre ningún par de especies.

Ahora podemos entender cuando debe producirse la exclusión competitiva entre dos especies y cuando debe de producirse la coexistencia. Si una especie está condenada a la extinción ante la presencia de otra, basta una pequeña diferenciación en cualquiera de las dimensiones o variables que conforman su nicho, para que se permita la coexistencia. Todas las especies tienen una cierta variabilidad en su respuesta al medio (acordéones de la campana de Gauss). Ante la temperatura, siempre puede haber algunos individuos capaces de soportar mejor los extremos. La supervivencia de esos individuos, es suficiente para permitir la coexistencia entre dos especies que compiten.

Como puede desprenderse de esta explicación, las poblaciones que han sufrido la diferenciación se han modificado. Si una población de una especie ha tenido que diferenciarse a causa de su competencia con otra especie, puede ocurrir que las modificaciones hagan que esos individuos sean cada vez menos parecidos a los de otras poblaciones de su especie. En ese caso, una población ha pasado de tener unas características a tener otras: sus caracteres se han desplazado. Para los evolucionistas, la competencia entre especies puede producir un *desplazamiento de los caracteres* y así se generarían nuevas especies. En realidad, la diferenciación del nicho por competencia, es el equivalente del desplazamiento de caracteres.

Si dos poblaciones de una misma especie quedan separadas por una barrera, las condiciones distintas de cada sitio, irán seleccionando los individuos más aptos y, poco a poco, habrá un desplazamiento de caracteres. Este es el modo de producirse nuevas especies generalmente admitido. El medio ambiente es muy heterogéneo. No hay dos lugares idénticos y, además, las condiciones ambientales varían continuamente. En estas circunstancias, las

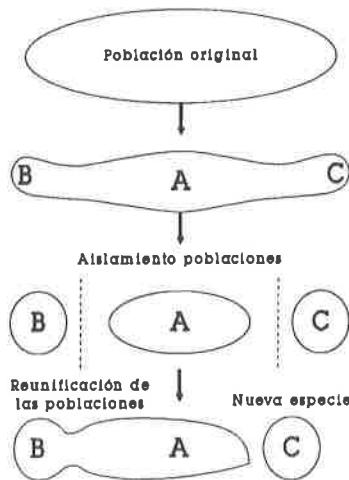


Fig. 61. La población original de esta especie se fragmentó y los individuos de los márgenes quedaron aislados. La subpoblación B divergió, pero no lo suficiente y cuando desapareció la barrera volvió a mezclarse con el grueso de la población original. La subpoblación C divergió lo suficiente y al desaparecer la barrera se convirtió en una nueva especie.

poblaciones se mueven de una lado a otro y algunas pueden quedar aisladas. Entonces, la competencia con otras especies o la adaptación a nuevas condiciones, puede producir un desplazamiento de nicho. Si al juntarse de nuevo poblaciones de esa especie, el desplazamiento de caracteres ha sido lo suficientemente grande, habrá dos especies. Si no, las dos poblaciones se unirán en una sola especie de nuevo.

Una cuestión colateral. No es infrecuente que los seres humanos busquemos justificación para nuestras ideas sociales en la naturaleza. La lucha de clases puede tomarse como un modo de competencia (Marx quiso dedicar su obra «El Capital» a Darwin) y el capitalismo más liberal

siempre ha visto con buenos ojos «la supervivencia del más fuerte». Sin embargo, resulta que los seres vivos no están luchando continuamente. En realidad, las especies que sobreviven son las que evitan las competencias. ¡La mejor adaptación es evitar la lucha! Podríamos aplicarnos el cuento ahora.

Ya tenemos una buena teoría en la que apoyarnos. Sólo basta saber que el medio ambiente es complejo y heterogéneo, para entender por qué hay tantas especies distintas. Si las especies coexisten, basta con decir que sus nichos son distintos. Puede que antes compitieran intensamente, pero sus nichos se han diferenciado lo suficiente como para permitir la coexistencia. Si algunas especies desaparecen por competencia, sólo es necesario suponer que sus nichos estaban incluidos en los de otras o que fue imposible la diferenciación.

#### VARIABLE 2

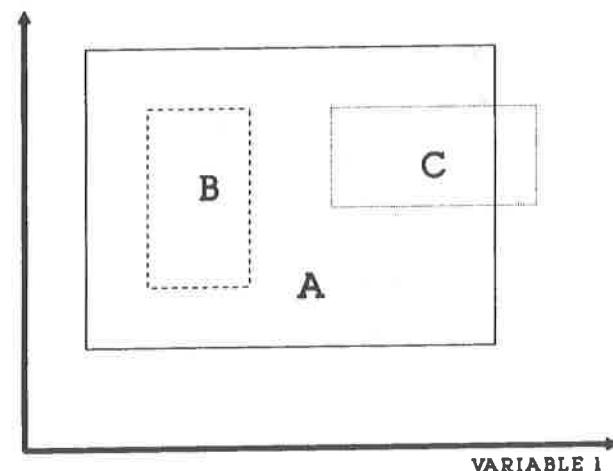


Fig. 62. El nicho de la especie B está incluido en el de la especie A. Pero la especie C es capaz de soportar algunas condiciones más extremas sobre la variable 1 que, tal vez, permitan la supervivencia de alguna población.

A pesar de lo elegante de esta teoría, estas suposiciones son imposibles de probar en la práctica. Averiguar cómo se comportan todas las poblaciones de una sola especie, ante la gran cantidad de variables ambientales, es una tarea gigantesca. Entonces, ¿cómo vamos a tener la seguridad de que algunas especies se han extinguido, porque tenían un nicho menor e incluido en el de otra especie? Del mismo modo, cuando encontramos dos competidores, es imposible saber con certeza si sus nichos se han diferenciado o no. Aunque es difícil, podemos situar juntas a dos poblaciones de distintas especies y comprobar si, poco a poco, van variando sus adaptaciones por efecto de la competencia. Pero si no encontramos esa diferenciación, no podemos decir nunca que no se haya producido. ¡Siempre puede haber una variable no examinada, sobre la cual se ha producido la diferenciación de los nichos! El modelo del nicho y el principio de exclusión competitiva son lógicos, pero imposibles de probar en todos los casos.

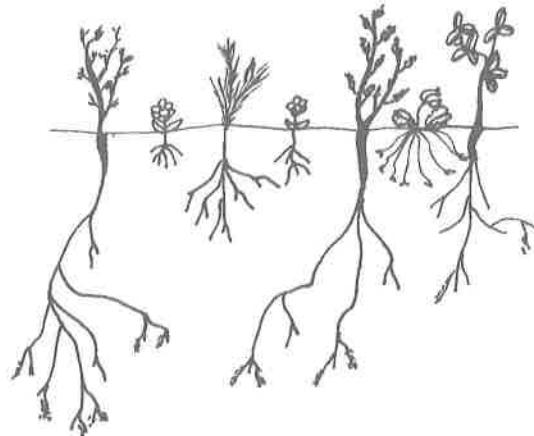


Fig. 63. *La competencia entre las plantas por los nutrientes, se evita si éstas sitúan sus raíces a distintas profundidades.*

También la competencia entre especies es difícil de probar. Hay que hacer estudios en los que se observe claramente que la presencia de una especie disminuye la supervivencia de otra. Aparte de los experimentos de laboratorio, como el anterior de los paramecios, hay algunas otras pruebas de la actuación de la competencia. Se ha comprobado en el campo que, en algunos casos, cuando se excluye uno de los competidores, aumentan las poblaciones del otro. También se han observado los efectos de añadir un competidor nuevo. Las introducciones de plantas y animales realizadas por el hombre, en lugares con una fauna autóctona menos competitiva, han sido grandes experimentos sobre la competencia.

Nadie duda de la importancia de la competencia actualmente, pero si observamos que las especies tienen adaptaciones distintas, nichos distintos, no tenemos que acudir siempre a la competencia para explicar esas diferencias. Si las especies tienen caracteres distintos, estos no tienen porque haberse producido por la diferenciación de los nichos. Los diferentes tipos de picos que tienen los pájaros, pueden haberse producido sin necesidad de competencia. Simplemente algunas especies vivieron en circunstancias diferentes (por ejemplo, en islas separadas) y modificaron su pico para adaptarse a consumir alimentos distintos.

También puede ocurrir que la competencia se produjera en el pasado y que el nicho o las características actuales de una especie, sean el resultado de competencias pasadas y no actuales. Los organismos son el resultado de procesos evolutivos que han transcurrido durante miles de generaciones y, muchos de los caracteres que ahora observamos en un animal, han podido evolucionar en circunstancias y en compañía de otras especies distintas. Si algunas especies de pájaros tienen picos distintos, a causa de la competencia por el alimento, es difícil que esa

competencia se haya producido con las mismas especies con las que convive actualmente.

Así que... ¿Hasta qué punto es importante la competencia? No lo sabemos. Puede que la encontremos actuando entre diferentes especies de una comunidad. Pero si no la encontramos, nadie puede decir que no existe o existió. Pudo haber actuado en el pasado, extinguiendo las especies inferiores o diferenciando los nichos, o puede actuar ahora sólo en determinados momentos. Si el modelo del nicho y el principio de exclusión competitiva, eran lógicos pero imposibles de probar, con la competencia ocurre otro tanto.

Hay comunidades en las que la competencia parece haber ejercido y ejerce una fuerte acción y comunidades en las que parece no existir. En los organismos que viven pegados al suelo, como las plantas o los animales fijos a los fondos marinos, la competencia por los nutrientes o la luz es generalmente grande. Sin embargo, los herbívoros parecen tener a su disposición más recursos diferentes de los que pueden consumir. En otras palabras, entre los herbívoros habría nichos vacantes. Los mayores consumidores de plantas son los insectos y entre estas especies de herbívoros la competencia se produce raramente. La acción de los predadores puede ayudar a explicar este hecho. El ataque de los carnívoros es capaz de reducir tanto las poblaciones de herbívoros, que puede que estos no consuman todos los recursos vegetales disponibles.

El caso es que la transcendencia de la competencia varía entre las comunidades. Si la competencia es importante, los nichos potenciales de las especies se reducirán mucho y si no lo es, encontraremos especies con nichos reales amplios que apenas solapan entre ellos. Si la competencia es importante, habrá muchas interacciones entre las especies: las comunidades son interactivas. Encontraremos pocos nichos vacantes, pocas situaciones

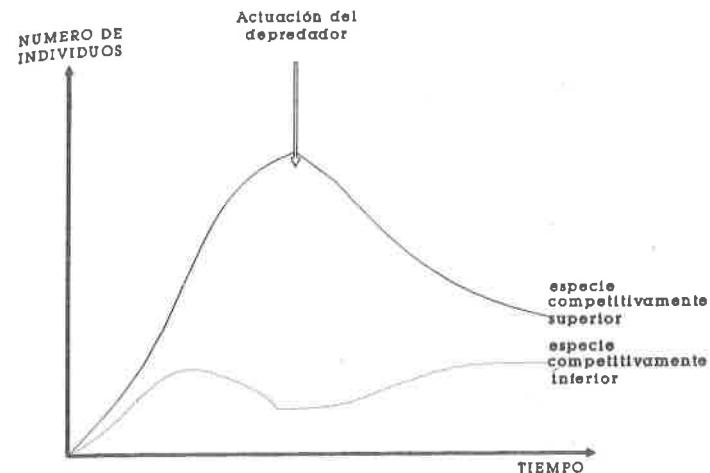


Fig. 64. *La especie competitivamente superior es capaz de extinguir a la inferior, pero la actuación de un depredador sobre la primera, atenúa la competencia y permite la coexistencia.*

sin explotar por las especies. En cambio, si la competencia apenas se da, habrá recursos sin utilizar o infrautilizados y las interacciones entre las especies serán infrecuentes: las comunidades son no-interactivas.

Ambos tipos de comunidades, interactivas y no-interactivas son muy diferentes. Cuando la competencia es importante, la comunidad ha alcanzado o está cerca de alcanzar un límite al número de especies que pueden coexistir juntas: la comunidad está saturada de especies y es difícil que entre alguna nueva especie de fuera en la comunidad. Cuando la competencia apenas actúa, las comunidades no están saturadas y hay nichos vacantes y posibilidades para nuevas especies que vengan de otros territorios u otras comunidades. Siempre que tratemos de explicar por qué están unas especies y no otras en una comunidad no-interactiva, debemos tener muy en cuenta

las colonizaciones y las entradas de especies desde regiones o comunidades alejadas.

En las comunidades interactivas, se piensa que la exclusión competitiva fija un límite al número de especies diferentes que pueden coexistir. Pero la exclusión competitiva no tiene que aparecer siempre. Si periódicamente las poblaciones de las especies más competitivas son diezmadas, por ejemplo, a causa de los depredadores o del clima, la competencia puede no perjudicar a las especies inferiores permitiéndose la coexistencia.

En ocasiones, el competidor inferior es incluso capaz de subsistir, aunque el superior no tenga sus poblaciones disminuidas. Por ejemplo, si el espacio es heterogéneo, puede haber refugios que protejan al competidor inferior y no permitan la exclusión. Otro ejemplo. Si el competidor inferior tiene una mayor capacidad de dispersión, puede ser capaz de encontrar recursos antes de que llegue el competidor superior y le desplace. Otro caso más. Si el competidor inferior se reproduce rápidamente, puede ser desplazado por el competidor superior después de haberse reproducido, con lo cual, su descendencia podrá subsistir.

Hay descritos algunos otros casos más en los que es posible la supervivencia de especies competitivamente inferiores. Indudablemente, cuando se dan estas circunstancias, el número de especies podría preverse en un principio. La verdad es que los ecólogos no están de acuerdo sobre si las comunidades pueden llegar a saturarse, es decir, sobre si hay un límite claro al número de especies que pueden coexistir juntas. ¿La diversidad de las comunidades tiene un límite? o... ¿siempre se pueden encontrar condiciones ambientales nuevas para una nueva especie?

Los pocos datos del pasado disponibles, parecen indicar que las comunidades establecidas en lugares ambientalmente estables, como los fondos oceánicos, han

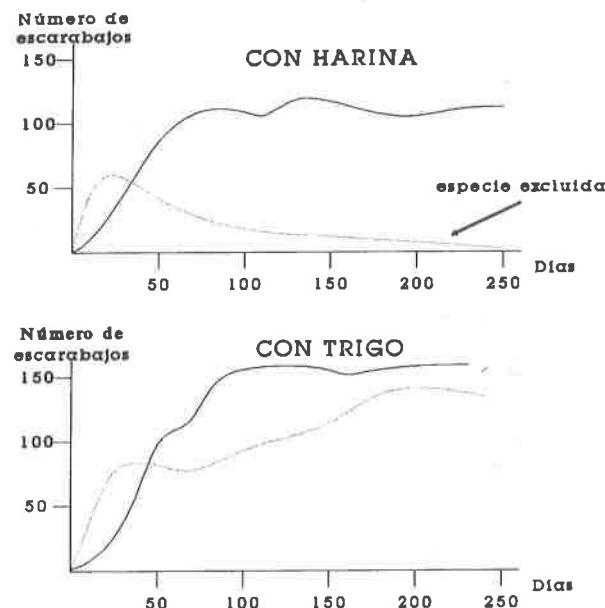


Fig. 65. Estas dos especies de escarabajos se alimentan de harina. Cuando se las sitúa juntas, una de ellas es excluida por la otra. Pero si se las alimenta con trigo, ambas pueden coexistir gracias a que el competidor inferior es capaz de refugiarse entre las cáscaras del trigo.

ido aumentando constantemente de especies a lo largo de millones de años. Esto significaría que la saturación es una cosa rara en las comunidades y que casi siempre pueden ingresar nuevas especies.

## CONTRA TUS SEMEJANTES

A quién más se parece un individuo de cualquier especie, es a otro individuo de su misma especie. Salta a la vista que, entonces, la competencia más feroz ha de darse entre los ejemplares de una misma especie.

Ya hemos visto en los casos de las curvas en forma de *S*, como los recursos son limitados y las poblaciones no pueden crecer indefinidamente. Si aumenta la densidad de individuos, termina por aumentar la mortalidad y por disminuir la supervivencia. Podemos suponer que existe un punto estable de densidad para un población: si aumenta la población, aumenta la mortalidad; si disminuye la población, aumenta la supervivencia. De este modo se mantiene la densidad adecuada para los recursos disponibles.

De este modo, la competencia entre individuos de una misma especie, o competencia intraespecífica, puede regular el tamaño de las poblaciones. En realidad, otros muchos factores pueden regular las poblaciones aunque no haya competencia. Los predadores, los cambios ambientales o el nivel de los recursos pueden hacerlo por su propia cuenta. Pero en último extremo, siempre está ahí la competencia.

La competencia intraespecífica no sólo regula el número de individuos de una población, sino que puede modificar las características de esos mismos individuos. Por ejemplo, cuando hay mucha competencia, general-

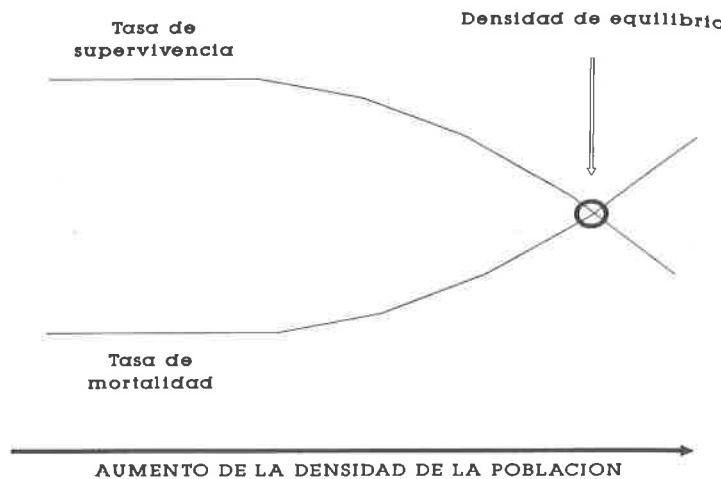


Fig. 66. La tasa de supervivencia y la tasa de mortalidad dependen de la densidad de la población y hay un punto que es la densidad idónea para los recursos disponibles.

mente suele disminuir el tamaño medio de los individuos: hay menos alimento disponible para todos y el desarrollo es peor. En plantas, la competencia intraespecífica puede favorecer la producción rápida de semillas: dar semillas en poco tiempo o germinar pronto puede significar la vida si hay mucha competencia. En realidad, la modificación de las cualidades de las poblaciones y, por tanto, la ampliación de las cualidades de las especies, es la característica fundamental de la competencia intraespecífica. Veámoslo.

Imaginemos que una isla o un lugar deshabitado, es colonizado por una sola especie. Los primeros individuos en llegar, se situarán en los mejores sitios. Se desarrollarán en los lugares con más recursos y más idóneos según sea el nicho de esa especie. A medida que vayan llegando nuevos ejemplares, la competencia intraespecífica se irá intensificando y cada vez será más

frecuente que algunos individuos poco capaces se sitúen en los peores emplazamientos. Si la competencia es intensa, algunos vivirán incluso en los límites que permiten su subsistencia. De este modo, si logran sobrevivir ante esas condiciones hostiles, estos individuos habrán ampliado las variedad de recursos y situaciones en las que puede vivir esta especie: habrán aumentado su nicho.

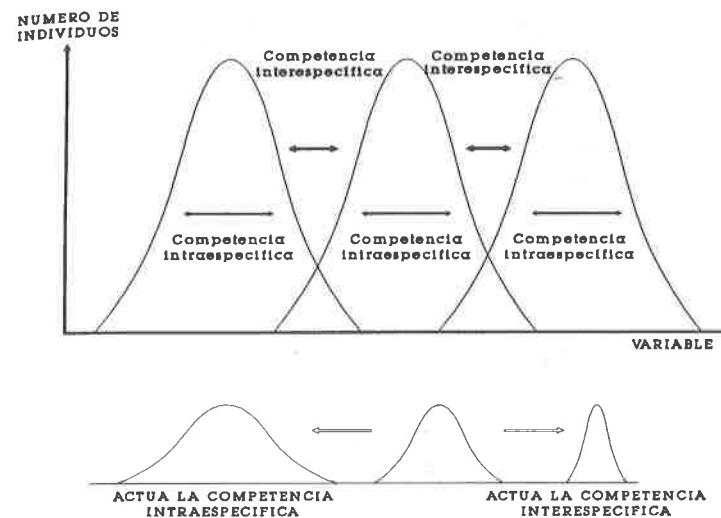


Fig. 67. La competencia intraespecífica actúa ampliando el rango de aparición de los individuos sobre la variable. Por el contrario, la competencia interespecífica lo disminuye.

La competencia entre individuos amplía constantemente las posibilidades de las especies. Naturalmente, este proceso no puede prolongarse indefinidamente, ya que las especies no tienen una plasticidad ilimitada. Aunque la competencia empuje cada vez más lejos a los individuos, estos tienen restricciones fisiológicas y genéticas. Ningún árbol puede conquistar los polos por mucha

competencia que experimente porque, bajo esas temperaturas, es imposible mantener el calor necesario para la vida.

Esta forma de actuar de la competencia intraespecífica, produce unos resultados totalmente contrarios a los de la competencia entre especies o competencia interespecífica. Cuando dos especies distintas compiten, los individuos que viven en los márgenes del nicho, son los que sufren las consecuencias de la exclusión competitiva. Las poblaciones que viven en las condiciones menos óptimas, tienen que competir contra otras especies. De esta manera, la competencia entre especies disminuye el nicho de estas, pero la competencia entre individuos de una misma especie lo aumenta. ¿Qué consecuencias tiene esto?

Si las comunidades están saturadas en especies, o tienen pocos nichos vacantes, la competencia entre especies será más frecuente. En cambio, si las comunidades tienen nichos vacantes o están compuestas por pocas especies, la competencia entre individuos será más importante. En fin, en comunidades con una gran diversidad, la competencia entre especies debe ser más frecuente que en comunidades con una escasa diversidad.

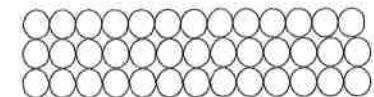
En los trópicos o en los fondos marinos, hemos de suponer que la competencia entre especies es más intensa. En este caso, al tender a desaparecer los individuos que habitan las condiciones marginales, las especies irán disminuyendo paulatinamente las condiciones sobre las que pueden vivir: se irán especializando en unas condiciones óptimas muy limitadas. Por lo demás, en un ambiente con muchas especies, la estrategia mejor es producir descendientes que cada vez tengan mejores capacidades competitivas: que abarquen poco, pero bien.

En las comunidades o en los lugares con poca diversidad, la competencia entre los individuos ha de ser más intensa. Por eso, las especies tienen que tender a ampliar

MAS NICHOS



NICHOS MENORES



NICHOS MAS SOLAPADOS

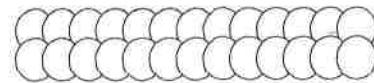


Fig. 68. *Desde el punto de vista de la teoría del nicho, puede haber más especies: 1) Si hay más recursos y, por tanto, hay más nichos. 2) Si las especies tienen nichos menores, es decir, si hay más especialistas. 3) Si las especies solapan más en sus nichos.*

lo más posible la variedad de condiciones sobre las que pueden vivir: se irán haciendo generalistas. De hecho, las grandes especies colonizadoras, tanto vegetales como animales, no proceden de los trópicos, sino de los lugares en donde la inestabilidad climática o cualquier otra causa, ha impedido un gran aumento de la diversidad.

La competencia entre especies favorece la existencia de especialistas y la competencia entre individuos favorece la evolución de especies generalistas u oportunistas.

## CUANTOS SOMOS Y DE DONDE VENIMOS

Hemos hablado de las causas. De las respuestas que ha dado la Ecología, a la pregunta de cómo se ha podido producir la diversidad de seres vivos que observamos. Pero, en realidad, ¿Es qué hay tantas especies? ¿Cuántos seres vivos hay? ¿A qué cantidad nos referimos cuando decimos que hay muchos tipos de organismos sobre la Tierra?

A pesar de todos los progresos que ha efectuado la humanidad, todavía no somos capaces de dar una respuesta, ni siquiera aproximada, a esta pregunta. No sabemos cuantas especies hay y, aunque nos pusiéramos manos a la obra inmediatamente, tardaríamos muchísimos años en tener estimas fiables. Eso contando con muchos más medios de los que disponemos ahora y sin tener en cuenta que, por nuestra causa, muchas especies podrían haber desaparecido sin ni siquiera haber llegado a ser descubiertas.

La Biblia dice que Adán se dedicó a «asignar nombre a cada bestia del campo y a cada ave de la Tierra». También Noé debía de tener grandes conocimientos sobre la diversidad de seres vivos, pues introdujo a todos los animales, en una nave de 3.000 metros cuadrados de superficie y 14 metros de alto. El caso es que Aristóteles, en el siglo IV antes de Cristo no reconocía más de 500

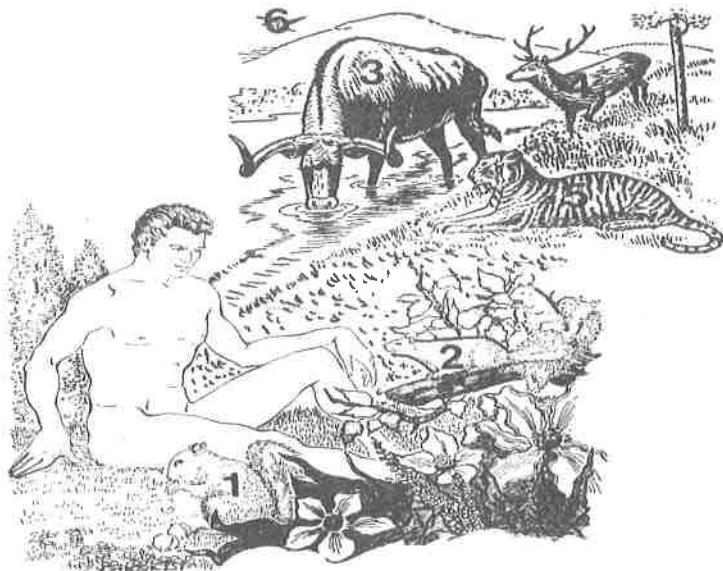


Fig. 69.

especies de animales y plantas. Tendrán que pasar más de dos milenios para que Linnaeus, un naturalista sueco, describiera a mediados del siglo XVIII unas 9.000 especies distintas de plantas y animales.

El auge de los viajes y las expediciones, facilitó que a comienzos del siglo XIX hubiera unas 70.000 especies descritas. A partir de ese momento el número de especies conocidas se incrementó rápidamente. Entre 1789 y 1850 se describieron unas 72.000 nuevas especies de plantas, una cifra cuatro veces superior a la de todas las plantas que se conocían hasta entonces. En 1952 había un millón de especies descritas y, en la actualidad, la cifra puede rondar el millón y medio.

Ahora bien, dos tercios de las especies descritas habitan en las regiones templadas, donde se encuentran la

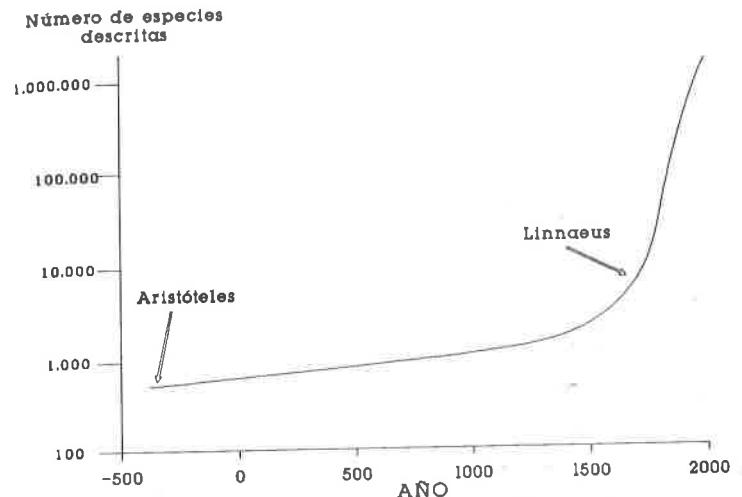


Fig. 70. Evolución del número de especies conocidas.

mayoría de los biólogos, pero la minoría de los seres vivos. Los datos que poseemos de las regiones tropicales son abrumadores y hacen sospechar que el número real de especies del planeta sea mucho mayor. En los trópicos, una sola hectárea de selva puede tener más de 300 especies de árboles distintos. En un bosque templado, es difícil encontrar más de una docena. Se estima que por cada especie de árbol hay unas 600 especies de insectos que viven de él, y parece que un sólo árbol tropical puede tener tantas especies de hormigas como todo un país centroeuopeo.

Recientemente se fumigó la bóveda forestal de pequeñas zonas de selva de Panamá, para intentar hacer una estimación sobre el número de insectos que puede haber. Los datos resultan apabullantes: sólo en los trópicos podría haber unos 30 millones de especies de insectos. Se han realizado otras muchas estimaciones de la diversidad

de seres vivos del planeta o biodiversidad. Hay que tener en cuenta que existen otros muchos grupos de seres vivos de los que sabemos muy poco. Los hongos, las bacterias o los gusanos podrían depararnos muchas sorpresas. Además, los fondos marinos están inexplorados y cada especie animal podría tener, al menos, una especie parásita propia. Ante todo esto, ¿Qué número total de especies podemos considerar como una cifra razonable? Todo son conjeturas, pero a pocos expertos les asustaría la cifra de 10 millones de especies.

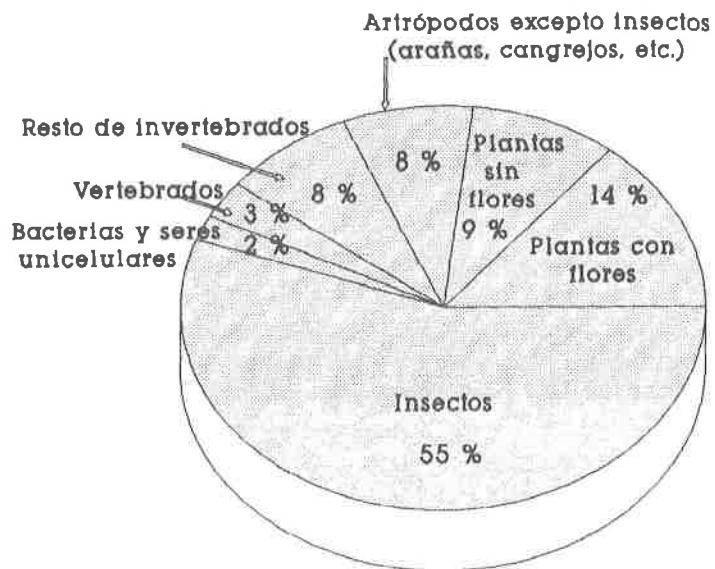


Fig. 71. Reparto del número de especies conocidas entre los distintos tipos de seres vivos.

Tenemos una idea errónea acerca de como se reparte la biodiversidad entre los distintos grupos de seres vivos. Los animales unicelulares son sólo un 5 por 100 de las

especies descritas, las plantas y los hongos suponen un 22 por 100, mientras que el 70 por 100 de las especies son animales. Pero la mayoría de los animales conocidos no son como los que acostumbramos a ver. Los vertebrados, es decir, los animales que tienen columna vertebral como nosotros y que incluyen a los peces, los anfibios, los reptiles, las aves, y los mamíferos, sólo suponen un 3 por 100 de las especies. Sin embargo, la mitad de las especies conocidas son insectos (unas 900.000) y, dentro de ellos, una de cada cinco especies del planeta es un escarabajo.

Estos cómputos pueden ser todavía más desproporcionados, si se tiene en cuenta que, seguramente, la gran mayoría de las especies por descubrir serán insectos. Cada año descubrimos unas cinco especies nuevas de aves en el mundo, unas veinte de mamíferos y unas 10.000 especies de insectos.

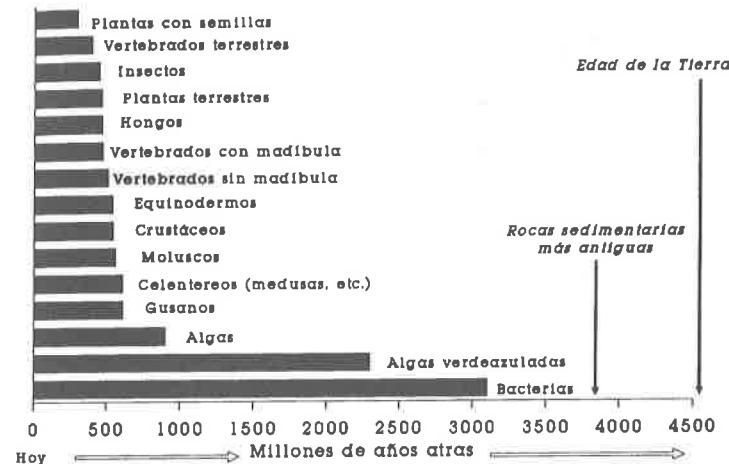


Fig. 72. Epoca aproximada de aparición de los principales grupos de seres vivos.

La Tierra se formó hace unos 4.500 millones de años y, desde entonces, han aparecido nuevos tipos de organismos y desaparecido muchos otros. El mar, lugar en donde se originó la vida, alberga todavía el 90 por 100 de los grandes tipos de animales, aunque en él sólo habita el 20 por 100 de las especies del planeta. Eso es así, porque en el mar viven muchos de los más primitivos grupos animales aún no extinguidos. Grupos que tuvieron un gran éxito evolutivo en épocas pasadas.

Se estima que en toda la historia de la vida sobre la Tierra, ha podido haber unos 1.000 millones de especies. Eso significaría que, aproximadamente, se han extinguido el 99 por 100 de todas las formas vivas. Así pues, la extinción de especies no es un asunto nuevo para nuestro planeta. En la historia de la vida sobre la Tierra, ha habido períodos en los que la extinción de especies fue masiva.

A finales del Triásico, hace unos 200 millones de años, se produjo una gran extinción de especies. Después, durante el Cretácico superior (unos 65 millones de años) se extinguieron otras muchas especies, entre ellas los famosos dinosaurios. Estas dos extinciones son de las más conocidas, pero ha habido otras muchas. Se han aducido muchas causas a la hora de explicar estas extinciones: cambios en la salinidad marina, choques de meteoritos, cambios climáticos, inversiones del campo magnético, etc. Hay estudios que incluso afirman que las extinciones son periódicas y responden a algún ciclo de tipo cósmico. Sea como fuere, parece que estas extinciones no tenían la velocidad actual.

Tras cada extinción se produjo una proliferación de nuevos organismos. La desaparición de los dinosaurios, dejó el camino libre para el dominio de los mamíferos. Vistas las cosas desde una escala geológica, la vida siempre se ha recobrado tras una catástrofe. Podría decir-

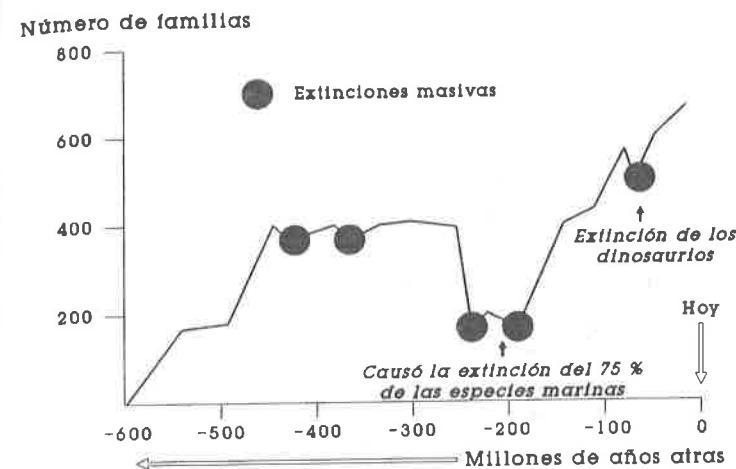


Fig. 73. Evolución supuesta de la biodiversidad desde hace 600 millones de años.

se que el problema es nuestro, ya que la vida continuará probablemente sin nosotros.

Aunque nuestro conocimiento del registro fósil es incompleto, parece que el período en el que nos encontramos es el de mayor diversidad en toda la historia de la Tierra. Ello significa que se han ido generando más especies de las que se han extinguido. Ahora, en cambio, la tasa de extinción es un millón de veces mayor que la tasa de producción de nuevas especies. Está constatado que la aparición del hombre, con su capacidad como depredador, supuso la extinción de numerosas especies como el mamut o el rinoceronte lanudo. En Baleares, la entrada del hombre hace 5.000 años, significó la desaparición de toda la fauna de vertebrados autóctona. Se estima que desde el siglo XV, el hombre ha extinguido directamente unas 120 especies de mamíferos y unas 150 especies de aves.

Los ecólogos calculan que se extinguen más de 17.000 especies al año. Actualmente, una de cada cinco especies

de plantas está en peligro de extinción y para el año 2.000, la mitad de los mamíferos correrá idéntica suerte. La mayor parte de estas extinciones, se deben a la destrucción de los hábitats o lugares en donde viven los organismos. El hombre consume el 40 por 100 de toda la energía que fijan las plantas del sol y eso significa deforestación. Hoy en día ya han desaparecido la mitad de los bosques tropicales, a un ritmo de unos 100.000 kilómetros cuadrados al año. Se prevé que para el 2.050 se habrá destruido la mitad de los bosques actuales. ¿Qué consecuencias puede tener esto? ¿Para qué nos sirve la biodiversidad?

Cada especie se ha originado tras millones de años de evolución. Se piensa que la mitad de las especies actuales evolucionaron durante los últimos 50-100 millones de años. Por tanto, la diversidad que observamos es el resultado de un proceso irrepetible y único. Tomando las medidas oportunas, la contaminación atmosférica o marina pueden ser procesos reversibles. Pero la pérdida de cualquier especie es irrecuperable.

El problema es mucho más grave, si tenemos en cuenta que no sólo es importante la desaparición de especies, sino la de sus distintas poblaciones. Ante cualquier modificación ambiental, la evolución necesita de la variabilidad. Si una especie posee una gran variedad de individuos, con distintas capacidades y posibilidades, será más probable que alguno sobreviva ante un cambio ambiental. Una única especie puede tener cientos de poblaciones genéticamente distintas. Así que, extinguendo las poblaciones de las especies, estamos disminuyendo su capacidad de respuesta ante las alteraciones del medio.

Algunas personas opinan que deben de conservarse todas las especies, por razones éticas o estéticas. Su opinión es totalmente válida, pero en el contexto actual resulta poco convincente para muchos. Se piensa generalizadamente, que el desarrollo de la humanidad requiere

la explotación sin medida de los recursos naturales. Ante esos argumentos las mejores razones son siempre las de tipo práctico. Veamos algunas.

El hambre sigue siendo una verdadera plaga para las 2/3 partes de la humanidad, cuyas cosechas dependen de las variedades, los fertilizantes y los insecticidas importados desde los países con capacidad para producirlos. De las 265.000 especies de plantas conocidas, únicamente utilizamos 100 especies como recurso alimenticio y sólo 20 de ellas se usan extensivamente. Se sabe que, aproximadamente, unas 7.000 especies han sido usadas con fines alimentarios por toda la humanidad, y que unas 75.000 ofrecen partes comestibles.

Las plantas tienen también otras muchas potencialidades. Son el origen de una buena cantidad de fármacos y drogas: quinina, penicilina, morfina, etc. Recientemente, una especie de planta ha resultado ser útil en el tratamiento contra la malaria, y se siguen investigando las propiedades anticancerosas de muchos compuestos producidos por los vegetales. Sólo se conocen las propiedades de un 2 por 100 de las plantas. La industria farmacéutica sabe que el mundo vegetal es un filón y, por ello, está cambiando ayuda medioambiental por derechos de explotación en algunos países.

Se pueden mencionar otras muchas razones económicas. Sin apenas conocer las posibilidades reales, son muchos los productos que actualmente extraemos de la naturaleza: caucho, tintes, insecticidas, ceras, conservantes, condimentos, aceites, etc. También puede haber muchas especies efectivas en el control de plagas, que si desapareciesen podrían provocar verdaderas catástrofes. Otras muchas especies son buenos indicadores de la contaminación ambiental. En otros casos su importancia puede estar en la mejora de cultivos. Por ejemplo, en México se ha descubierto una variedad de maíz que es perenne, es decir,

que no muere cada año. Si se pudiese pasar ese carácter al maíz cultivado, no habría que arar ni sembrar cada año.

Otro aspecto que hay que considerar en el tema de la pérdida de biodiversidad, son los efectos negativos sobre el funcionamiento de los ecosistemas. En ocasiones, la pérdida de una especie puede provocar efectos indeseados. En Borneo, la Organización Mundial de la Salud quiso eliminar los mosquitos y moscas con DDT. Con los mosquitos desaparecieron muchos otros insectos, entre ellos una avispa que se alimentaba de una especie de oruga. Esta oruga aumentó enormemente sus poblaciones, consumiendo las techumbres de las viviendas indígenas. Además se envenenó el principal consumidor de las moscas, la salamanquesa, lo que significó la desaparición del principal predador de esta, el gato. La desaparición de los gatos trajo consigo una plaga de ratas y ratones. Este ejemplo puede ser anecdótico en comparación con otro tipo de repercusiones posibles. Pensemos en la modificación del clima debido a la deforestación o en la contaminación de los ríos y mares.



Fig. 74. Zonas del planeta en las que se concentra la biodiversidad.

Otro aspecto que destaca de la diversidad de los seres vivos del planeta, es su reparto geográfico tan desequilibrado. Las selvas húmedas tropicales suponen sólo el 6 por 100 de la superficie del planeta, pero en ellas vive el 50 por 100 de las especies. Prácticamente en 15 áreas del planeta, que representan únicamente el 1 por 100 de la superficie total, se encuentran entre el 30 por 100 y el 40 por 100 de todas las especies. Este desequilibrio también es muy pronunciado políticamente. En sólo una docena de países se encuentra el 60-70 por 100 de toda la biodiversidad: EE.UU., México, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Zaire, Madagascar, India, China, Indonesia y Australia. Muchos de estos países tienen también grandes crecimientos poblacionales, y la presión demográfica y económica sobre estos territorios, puede hacer peligrar la mayor riqueza del planeta: sus seres vivos. ¿Se puede cambiar esta situación?

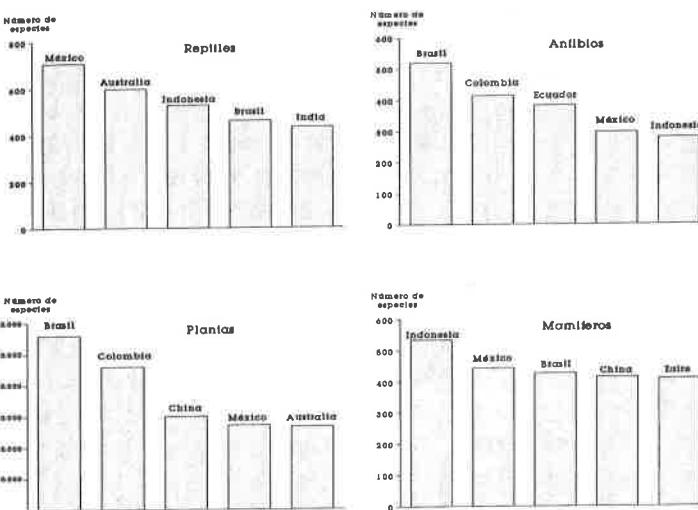


Fig. 75. Países con más especies de cuatro grupos de organismos.

Gran parte de los países subdesarrollados que, sin embargo poseen la mayoría de la biodiversidad, fueron colonias de países ricos. Con la descolonización y sobre todo a partir de la segunda guerra mundial, estos países han sido explotados por instituciones como el Banco Mundial o el Fondo Monetario Internacional. Se trata del sencillo truco de ofrecer créditos, que han de pagarse en dólares y tienen que gastarse con una serie de condiciones que favorecen a las empresas de los países que los conceden. Esta afirmación puede parecer ideológica, pero desgraciadamente se trata simplemente de hechos. Un sólo ejemplo. Brasil es uno de los principales exportadores mundiales de alimentos, pero más de la mitad de los brasileños pasan hambre. De 1966 a 1978 más de 70.000 kilómetros cuadrados de bosque amazónico fueron convertidos en pastos para el ganado. La mayoría de esa carne sirve para abastecer a las cadenas de restaurantes «fast-foods» de Estados Unidos. Eliminar la terrible catástrofe que supone la pérdida de biodiversidad, requiere un mejor equilibrio económico mundial. Esa dificultad hace que la solución del problema parezca increíble, pero sea ilusionante.

## FLUJOS Y PIRAMIDES

Si nos fijamos en cualquier parte que albergue vida, reconoceremos que los animales pueden ser agrupados según su forma de obtener la energía. La energía permite realizar un trabajo y todos los organismos necesitan realizar algún trabajo para vivir o lo que es igual, necesitan una fuente de energía que pueda ser utilizada. Los vegetales utilizan gases y minerales, para sintetizar compuestos energéticos a partir de la radiación solar. Son los llamados *productores primarios*. Los animales herbívoros se aprovechan de esos compuestos y los carnívoros, a su vez, se aprovechan de los herbívoros. Son los consumidores de la energía almacenada en las plantas. Los herbívoros son los *consumidores primarios*, mientras que los carnívoros son los *consumidores secundarios*. Podríamos decir que hay una cadena alimentaria por la que transcurre la energía de cualquier ecosistema.

La lógica señala que este proceso tiene que ser secuencial. Es decir, que la energía ha de pasar del sol a las plantas, para que luego pase a los herbívoros y después a los carnívoros. No hay más remedio. Incluso en la evolución, tuvieron que aparecer antes los vegetales que los herbívoros y éstos antes que los depredadores. Por esta razón se dice que hay un *flujo de energía* en los ecosistemas. Es decir, que la energía fluye de unos seres vivos a otros y no retorna nunca. ¿Hacia donde va?

El Sol, por medio de las reacciones atómicas que transforman el Hidrógeno en Helio, es la fuente principal de energía de la cual depende la vida de la Tierra. Hasta ahora se pensaba que todos los ecosistemas del planeta dependían de la energía solar, pero recientemente se han descubierto algunas comunidades de organismos que viven en los fondos marinos y no dependen del sol, sino de la energía interna de la propia Tierra. Aunque esos organismos hayan evolucionado a partir de ancestros que si usaban la energía solar, se trata de la primera evidencia de vida independiente del Sol.

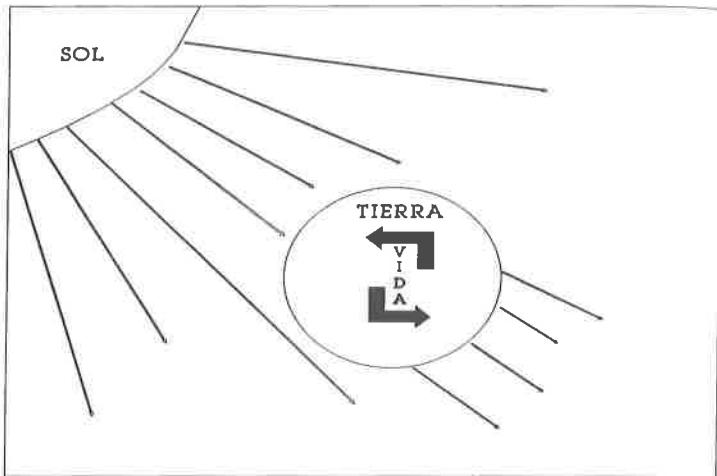


Fig. 76.

Aunque la energía entrante puede ser de un tipo y la saliente de otro, es una ley de la Física que cualquier cantidad de energía que entra en un organismo, debe de terminar saliendo de él. Así que, irremediablemente, toda la energía que entra en los ecosistemas acaba saliendo. Nuestro planeta está dentro de un flujo de energía que

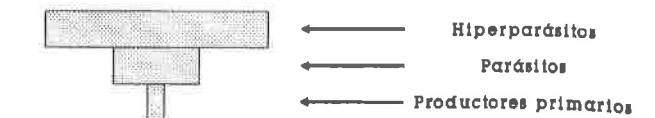
proviene del Sol. Esa energía entra, fluye y termina por disiparse en el espacio exterior, pero no lo hace rápidamente, si no que antes es utilizada por la vida para su mantenimiento. Podemos decir que la vida provoca que la energía del Sol no se vaya rápidamente de la Tierra.

La energía es un factor clave a la hora de entender el funcionamiento de la naturaleza. Los seres vivos se sitúan en diferentes niveles dentro del flujo energético: productores, consumidores primarios o consumidores secundarios. ¿Podemos intentar comprender el funcionamiento de la naturaleza desde esta perspectiva?

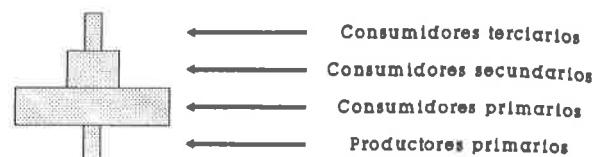
Desde los años 20 se sabía que, según la forma de obtener la energía, los seres vivos sólían tener unos tamaños determinados. Los insectos son más pequeños que los pájaros que los comen, y estos más pequeños que las aves carnívoras que los depredan. En fin, los organismos suelen aumentar de tamaño a medida que seguimos los flujos de la energía. Esta parece una simple consecuencia de la misma dinámica de comer y ser comido: los animales que quieran comer a otros deben ser mayores y más fuertes. Pero es que además, se observó que los animales y plantas de menor tamaño sólían ser muy abundantes, mientras que los grandes seres vivos eran escasos. Si vamos al campo encontraremos alguna vez un gran herbívoro y raramente hallaremos algún gran depredador. Si embargo, serán muchos los pequeños animales que encontraremos.

Cuando se cuentan los animales de cualquier ecosistema, la abundancia total va disminuyendo conforme los seres vivos se sitúan más cerca del final del flujo de energía, o están más altos en la cadena alimentaria. Son las denominadas *pirámides de números*. Si en vez de contar los animales de cada nivel alimentario los pesamos, veremos que también pesan más, o lo que es igual, tienen mayor biomasa, los seres vivos situados al inicio de la

C



B



A

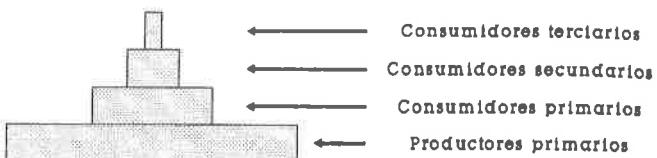
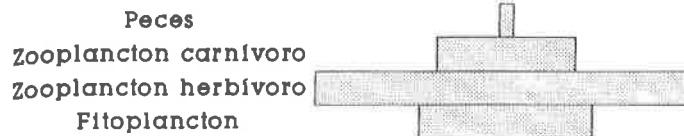


Fig. 77. Tres pirámides de números. El área de cada rectángulo es proporcional al número de individuos de cada nivel alimentario. En A los productores primarios son muchos y pequeños como en el mar. En B los productores primarios son pocos pero grandes como los árboles. En C se representa la situación de una planta que soporta muchos parásitos (pulgones, por ejemplo), los cuales tienen a su vez otros parásitos.

cadena alimentaria. Los ecólogos sabían que en la naturaleza había muchísimos animales pequeños, que sustentaban a un número menor de animales de mayor tamaño y así sucesivamente, hasta que al final, sólo había unos pocos animales de gran talla. Es como si hubiera algún límite que impidiera el aumento de las poblaciones de los animales grandes. ¿Por qué se produce esto?

En los años 40, los ecólogos calcularon la energía de cada nivel alimentario y con ello dieron el paso clave. Si consideramos a cada organismo simplemente como ali-

### Ecosistema marino



### Ecosistema terrestre

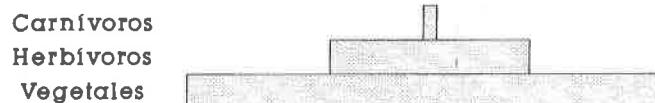


Fig. 78. Estas son dos pirámides de biomasa. La de abajo es propia de un ecosistema terrestre, mientras que la de arriba es de un ecosistema marino. Los productores primarios (fitopláncton) en el mar son pequeños y nacen y mueren rápida y continuamente. Por eso una menor biomasa puede mantener a una mayor biomasa de herbívoros (zoopláncton).

mento, podemos calcular sus calorías, la energía en forma de calor que es capaz de desprender. De este modo, a medida que se ascendía en la cadena alimentaria, cada vez era menor el combustible que quedaba para el nivel siguiente. Se había pasado de describir pirámides de números a describir pirámides de energía.

El sol es la base de toda la energía y las plantas y animales se aprovechan de ella. Pero con cada paso de un organismo a otro se va perdiendo energía. Las plantas tienen que mantener una temperatura y para ello transpiran. Los animales también y además se mueven, gastando más energía y disipando calor al exterior. En cada nivel alimentario, los animales han de conformarse con la energía que puedan coger del nivel inferior.

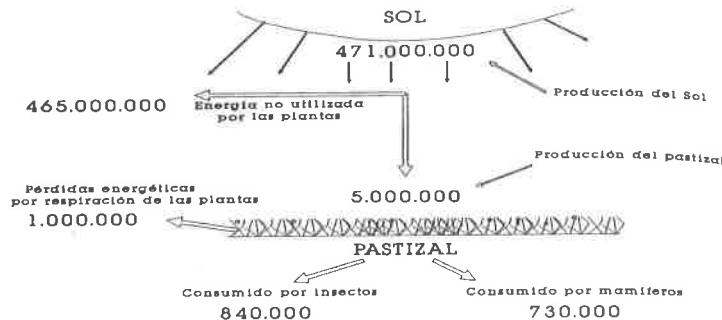


Fig. 79. Esquema aproximado del destino de la energía en un pastizal. Las cantidades son calorías por metro cuadrado y año.

Ya entendemos por qué hay pocos animales en los niveles superiores: la energía disponible no da para grandes poblaciones. Cada vez que estamos más arriba en la cadena alimentaria, hay menos energía disponible y es más difícil encontrarla. Ahora también es posible entender mejor algunas excepciones interesantes. Por ejemplo, los productores primarios no siempre son muchos y pequeños. En el mar, las diminutas algas son los primeros eslabones en la cadena alimentaria, pero en tierra firme puede haber tanto plantas pequeñas como árboles gigantescos. También hay herbívoros grandes como el elefante y herbívoros pequeños como el saltamontes.

En tierra firme, los vegetales necesitan mantenerse erguidos si quieren conseguir luz. Eso significa aumentar el tamaño y disponer de canalizaciones que trasladen los nutrientes y los alimentos hacia arriba y hacia abajo. En el mar, la luz se consigue sólo en la superficie. No son necesarios grandes órganos de transporte de nutrientes, ni raíces, ni fuertes tejidos de sujeción. Bueno, pero... ¿podía haber grandes plantas marinas que cubrieran extensas superficies? Hay un problema adicional. Las corrientes impiden que una planta grande pueda estar en las mismas

condiciones toda su vida. Las plantas marinas son pequeñas, porque así pueden dispersarse mejor y mantenerse en unas condiciones ideales.



Fig. 80.

En tierra puede haber, de esta manera, plantas grandes y pequeñas y, por tanto, herbívoros grandes o pequeños. Los grandes animales han sido siempre herbívoros terrestres. Los voluminosos dinosaurios eran herbívoros y los mamíferos más grandes de la actualidad también lo son. Es lógico que, como hay grandes disponibilidades de alimento vegetal, haya también grandes herbívoros. Sin embargo, hay una notable excepción: las ballenas. Las ballenas son los animales más grandes que jamás hayan existido y sin embargo son carnívoros, ya que se alimentan filtrando y comiendo unos diminutos camarones que flotan en el agua. En realidad, las ballenas pueden mantener ese tamaño porque se alimentan de animales muy pequeños, situados casi en la base de la cadena alimentaria. Su estrategia ha sido eludir los animales mayores y usar energía de primera mano, evitando las sucesivas pérdidas energéticas de las cadenas alimentarias.

Hay que tener en cuenta una circunstancia muy importante cuando se habla del tamaño: ser mayor permite ahorrar energía. Obtener energía eficazmente es fundamental, pero también es importante no desperdiciar inútilmente la energía conseguida. La superficie exterior es vital en este sentido. Las lagartijas calientan su piel al sol

para obtener calor, el pelo de los mamíferos impide las pérdidas de calor y las plantas de los desiertos tienen la menor superficie posible para evitar el sobrecalentamiento y la pérdida de agua. Los animales y las plantas necesitan mantener una temperatura interna mínima, sin la cual es imposible que tenga lugar cualquier actividad bioquímica. Un animal pequeño tiene mucha superficie en relación con su volumen y a través de esa superficie puede perder buena parte de la energía adquirida. Por eso, una tonelada de ratones necesita muchos más alimento y energía que un elefante de ese mismo peso y, también por eso, los animales pequeños suelen ser más activos que los grandes.

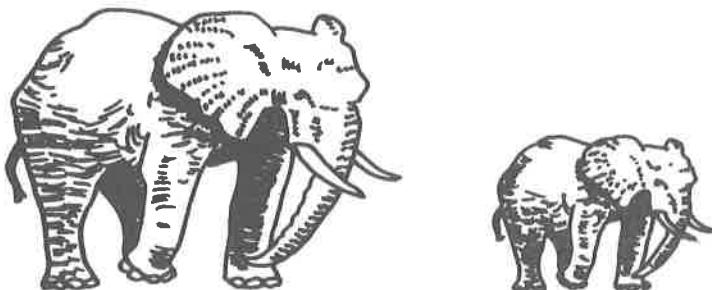


Fig. 81. En las figuras similares, la superficie aumenta con el cuadrado de la dimensión lineal, mientras que el volumen lo hace con el cubo. Por eso, comparativamente, los animales pequeños tienen más superficie.

Aumentar de tamaño puede permitir subsistir con una menor cantidad de energía por unidad de peso, pero además puede evitar ser consumido por los depredadores. Parecen dos buenas ventajas, de hecho, cuando los paleontólogos han examinado los antepasados de muchos animales actuales, es frecuente que éstos sean de menor

tamaño. Es decir, la evolución suele favorecer el aumento de tamaño de las especies.

Una conclusión que podemos sacar de todo esto, es que el número de organismos distintos que puede atravesar la energía es limitado. Una planta puede servir de alimento a un herbívoro, éste a un carnívoro y éste a otro carnívoro, pero la secuencia tiene un límite definido por la energía disponible y el costo que puede suponer conseguirla. No tenemos que pensar que la energía pasa sucesivamente de un animal a otro de manera lineal. En realidad, las llamadas cadenas alimentarias, son más bien *redes alimentarias* en las que un mismo animal puede ser comido por varios distintos.

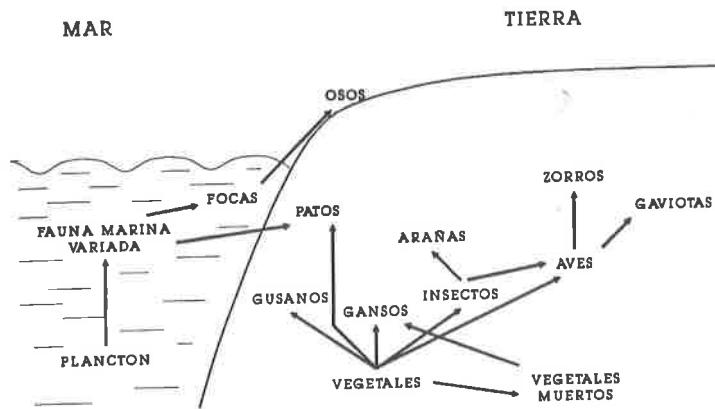


Fig. 82. Ejemplo de una red trófica en el ártico. Describir una red alimentaria cualquiera es una tarea colossal y siempre algo incompleta.

Pues bien, ahora que se han estudiado muchas cadenas alimentarias, se ha visto que su longitud no es muy grande nunca. En realidad, rara vez la energía pasa por cinco seres vivos consecutivamente y lo normal es que sean tres o

cuatro ¿Por qué? ¿Es que se pierde tanta energía entre un consumidor y otro que no da para más?

La cantidad de energía solar que alcanza la Tierra es enorme. Esa energía está en forma de radiación de onda corta con un alto contenido energético. Un 30 por 100 de la energía que entra en la atmósfera, es dispersada de nuevo al exterior por las nubes o la superficie. Un 20 por 100 es absorbida por diversas partículas de la atmósfera, sobre todo por el vapor de agua de las nubes. El 50 por 100 restante alcanza finalmente el suelo y el mar y se convierte en calor, que es una radiación de onda larga mucho menos energética.

Parte de ese calor se pierde de nuevo en el espacio, pero otra parte evapora el agua o se refleja en las nubes y en otros compuestos atmosféricos como el anhídrido carbónico y calienta la superficie. Es el denominado efecto invernadero. La energía de onda corta puede atravesar las nubes, pero la de onda larga no y eso genera que el calor no se vaya al espacio exterior. En el mar, sólo se calienta una delgada capa externa y el aire, al mover esa capa, distribuye horizontalmente ese calor. En tierra se calienta el suelo y el aire inferior caliente asciende creando corrientes y desequilibrios térmicos. Estos flujos de calor en el mar y en la tierra son complejos y todavía están poco comprendidos, pero son el origen fundamental del clima de nuestro planeta.

Al final, únicamente una décima parte de la energía total que entra en la Tierra está disponible para las plantas. Esa sigue siendo una cantidad enorme, pero resulta que en la naturaleza las plantas sólo aprovechan entre el 1 o el 3 por 100 de esa cantidad. Una eficiencia muy baja y, sin embargo, suficiente para mantener toda la vida. Aunque las cifras sean provisionales, podemos decir que con una milésima parte de la energía que entra en la Tierra se mantiene toda su vida.

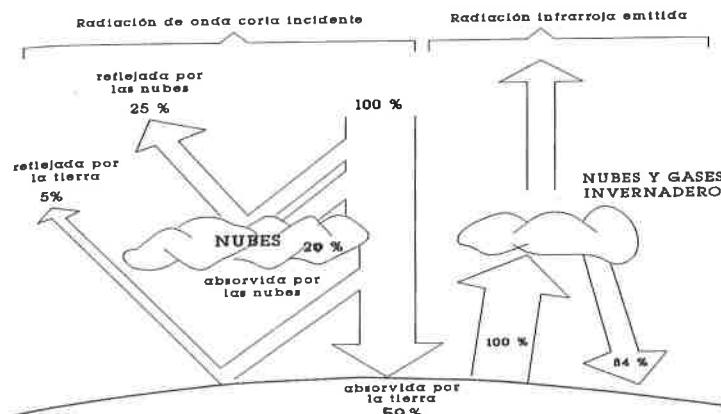


Fig. 83.

En los años 60 y 70 se midió la productividad vegetal en muchas partes del planeta. Es decir, la tasa de producción de masa vegetal por unidad de superficie. Como resultado de estas investigaciones, se comprobó que las zonas terrestres son responsables de 2/3 de la productividad de la Tierra, aunque sólo suponen la tercera parte de su superficie. Además, se pudo establecer que entre la productividad vegetal y las lluvias existía una gran relación. Cuando las plantas realizan la fotosíntesis, capturan el anhídrido carbónico del aire por medio de unos poros u estomas situados en las hojas. La fotosíntesis tiene que efectuarse de día, como es lógico, y mantener los estomas abiertos a esas horas significa perder agua. De este modo, la transpiración de las plantas resultó ser fundamental a la hora de explicar las precipitaciones de una región.

También se comprobó que la productividad es mayor en los trópicos. Tanto la temperatura como las radiaciones solares varían igualmente con la latitud. Así que no sería raro que estos factores influyan sobre la productividad. Por otra parte, el agua, el anhídrido carbónico y las sales

minerales, son compuestos necesarios para las plantas, así que también deben de influir. ¿Cuál es el factor principal que determina la productividad? ¿Por qué los vegetales aprovechan tan mal la energía del Sol?

Sólo la mitad de las radiaciones que llegan al suelo tienen la energía suficiente como para ser aprovechadas en la fotosíntesis. A pesar de ello, esta no es la causa de la baja eficacia de los vegetales. Sí hubiera plantas capaces de aprovechar bien este 50 por 100, tal vez se aportaría tanta biomasa a los niveles superiores que la biodiversidad general de la Tierra aumentaría. Lo que pasa es que si ocurriera esto, serían necesarios muchos más nutrientes y no hay. El agua, las sales minerales, el anhídrido carbónico y la temperatura son todos factores determinantes en la productividad. En otras palabras, la eficiencia por obtener más energía del sol no ha sido un factor que haya presionado a las plantas, ya que las plantas han estado limitadas por los nutrientes que pueden conseguir y por las condiciones del medio, y no por la disponibilidad de energía.

No existe la máquina perfecta que convierta en trabajo el 100 por 100 de la energía de un combustible. Los ingenieros consideran que una máquina es eficaz si transforma un 20-30 por 100 de la energía en trabajo útil. Tampoco existe el ser vivo perfecto y siempre una parte de la energía tiene que perderse como calor. Si la eficiencia en la obtención de energía por parte de los vegetales es muy baja, la de los animales es algo mayor, pero tampoco es muy alta. En promedio, alrededor del 90 por 100 del alimento ingerido por herbívoros y del 75 por 100 del alimento consumido por los carnívoros es expulsado fuera. Los vegetales sintetizan materia con los nutrientes del suelo y la energía solar. En este proceso las plantas tienen que gastar energía, así que sólo una parte de la producción vegetal es asequible para los herbívoros. Con

estos pasa lo mismo y sólo una parte de la producción de los herbívoros es asequible para los carnívoros y así sucesivamente. Se estima que, por término medio, sólo un 10 por 100 de la energía que ingresa en un nivel trófico está disponible para el siguiente nivel. No parece mucho.

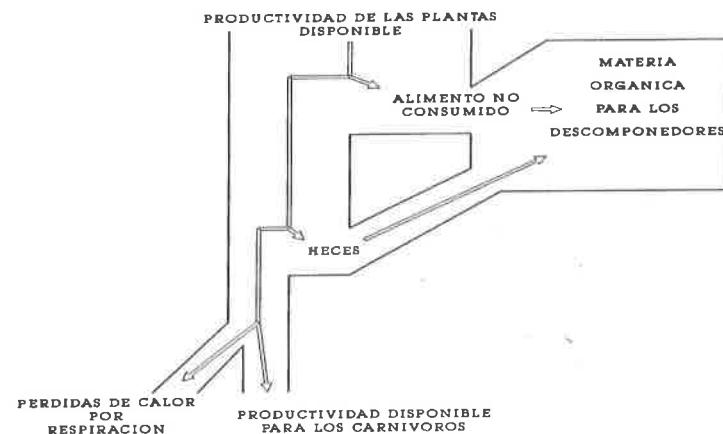


Fig. 84. Esquema que representa las pérdidas de energía sufridas por los herbívoros en el paso entre plantas y carnívoros.

Ahora podemos comprender por qué no hay cadenas alimentarias largas: se pierde mucha energía entre niveles tróficos y la disponible no da para cadenas largas. Un herbívoro no come todo tipo de vegetales y un depredador no se alimenta de todo tipo de herbívoros. Así que, probablemente, la energía fluye por canales estrechos en todos los lugares del planeta. De este modo, aunque en unos lugares se reciba más energía del Sol que en otros, nunca hay tanta como para que las cadenas alimentarias sean largas. Los ecólogos han propuesto también otros inconvenientes que ayudan a que las cadenas alimentarias no sean largas.

Por ejemplo, parece que si las cadenas alimentarias fuesen largas, una ligera fluctuación de las poblaciones de las especies que están en la base de la pirámide, podría provocar la extinción de los animales de la cúspide. También es muy probable que sea imposible para la evolución «construir» superadores que maten y se alimenten de otros depredadores. ¿Cómo tendría que ser un animal que se alimente de leones o tiburones? Además, los depredadores consumen las presas que más les compensen y no tienen porque dedicarse a comer los animales inmediatamente anteriores en la cadena alimentaria. Como hace la ballena, puede ser más fácil e interesante dedicarse a comer seres que estén en la base de la cadena.

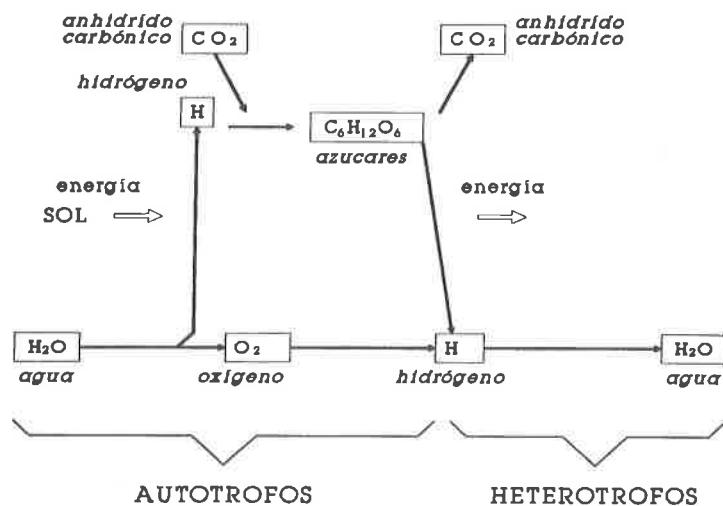


Fig. 85. Con agua y anhídrido carbónico, los autótrofos fabrican compuestos altamente energéticos, aprovechando la energía del Sol y desprendiendo oxígeno como desecho. Después, los heterótrofos oxidan estos compuestos y extraen de ellos su energía, produciendo de nuevo agua y anhídrido carbónico como desechos.

Muchos seres vivos (las algas, algunas bacterias y todas las plantas) son *autótrofos*, es decir, fabrican su propio cuerpo a partir de sustancias químicas del medio y de la energía disponible. En la mayoría de las ocasiones, la energía de los autótrofos procede del Sol. Pero otras veces, esa energía procede de reacciones químicas. Los seres vivos capaces de hacer esto (algunas bacterias y algas) son muy primitivos y actuaron en los inicios de la vida en el planeta, en ocasiones hace más de 3.000 millones de años. En cambio, los animales, los hongos y muchas bacterias, se alimentan de materia orgánica y utilizan la energía almacenada en los tejidos de otros organismos. A esos seres vivos los llamamos *heterótrofos*. La importancia de los heterótrofos en los flujos de energía es enorme, pero no precisamente por la actuación de los más famosos, es decir, por los carnívoros.

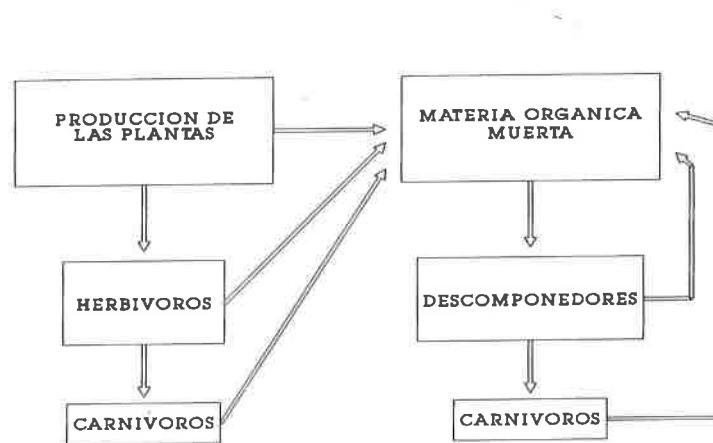


Fig. 86. Curso que sigue el flujo de energía en los ecosistemas. Toda la materia que procede de los descomponedores y de los carnívoros que se alimentan de ellos, es descompuesta también hasta que toda la energía se transforma en calor.

En todos los ecosistemas existen dos cadenas alimentarias que están unidas. En una de ellas la energía pasa del Sol a las plantas, de éstas a los herbívoros y de allí a los carnívoros. Es el paso de energía típico que podemos denominar cadena de los herbívoros. Pero hay otra cadena alimentaria muy importante. No toda la materia vegetal es consumida por los herbívoros, ni toda la carne de los herbívoros es consumida por los carnívoros. Además, al final, todos los materiales que contienen energía terminan cayendo al suelo y allí son descompuestos por una multitud de pequeños organismos. Se trata de la cadena de los descomponedores, que utiliza toda la energía procedente de los residuos que no han pasado al siguiente nivel, junto a la de los cadáveres y heces. Sólo en raras ocasiones, los procesos de descomposición no son completos y quedan depósitos de energía procedentes de la materia viva. Esos depósitos son nuestras principales fuentes de energía. Es el caso del carbón, el gas o el petróleo.

En un puñado de tierra podemos encontrar bacterias capaces de descomponer cualquier sustancia natural. Pero los descomponedores no son sólo bacterias y hongos, sino que también participan una multitud de otros seres vivos. Lombrices, milpies, escarabajos y otros insectos, se encargan de procesar la materia en primer lugar, y después los microorganismos atacan las partículas menores producidas y los restos de éstos. La cadena de los descomponedores maneja, en la mayoría de las ocasiones, más energía que la cadena de los herbívoros. Hasta el 90 por 100 del flujo de energía de un ecosistema puede ser procesado por las bacterias y los hongos del suelo.

## LOS CICLOS DE LOS MATERIALES

Todos los organismos necesitan energía para sus actividades, pero también requiere materiales. Al contrario que la energía, la materia de la Tierra ha sido siempre la misma, si descartamos los ingresos gracias a los impactos de meteoritos. Los elementos que componen la materia, se van produciendo por la adición consecutiva de una serie de partículas elementales y eso sólo es capaz de realizarse si hay suficiente energía. Son las llamadas reacciones de fusión nuclear que se producen en las estrellas. Por ejemplo, la energía del Sol proviene de las reacciones que forman Helio mediante la fusión de dos átomos de hidrógeno. Si en una estrella hay disponible más energía que en el Sol, pueden formarse elementos cada vez más complicados. De este modo, todos los elementos que conforman la materia de nuestro planeta, han sido producidos en el interior de estrellas que, al explotar, esparcieron su materia por nuestra galaxia.

La materia terrestre es un producto irrepetible que, aunque cambie de forma, no puede variar en cantidad. Por eso, no fluye sino que circula. Si seguimos las cadenas alimentarias, la materia y la energía van por los mismos caminos durante buena parte del tiempo. Algunos elementos como el carbono ingresan en las plantas a través del suelo. El nitrógeno puede llegar a formar parte de la

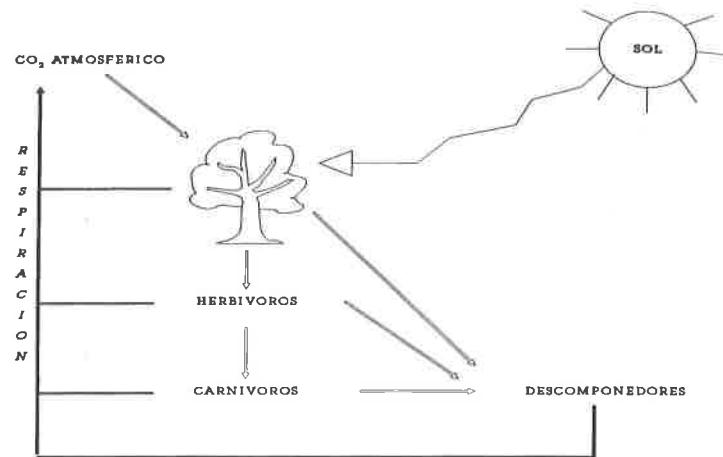


Fig. 87. Esquema simplificado del ciclo del carbono.

biomasa de las plantas, a través del suelo o a través de la atmósfera, ya que algunos vegetales viven en compañía de unas bacterias capaces de fijar el nitrógeno del aire. Sea como fuere, el caso es que a partir del momento en que se incorporan a las plantas, estos elementos circulan dentro de los mismos compuestos que acumulan la energía obtenida del Sol (azúcares, grasas, proteínas o celulosa).

Los herbívoros aprovechan la energía contenida en las plantas, y a la vez añaden a sus tejidos los materiales que necesitan. Lo mismo pasa con los carnívoros. Todo, en fin, es degradado por los consumidores. Pero mientras que la energía se pierde irremediablemente en forma de calor, la materia vuelve otra vez al suelo o a la atmósfera. Al suelo en el caso de la mayoría de los elementos y a la atmósfera en el caso del carbono, que es expulsado por los heterótrofos en este proceso de la respiración.

Como la materia circula o se recicla constantemente, la acumulación de un elemento por parte de algún organismo, reduce la cantidad asequible para los demás. Por

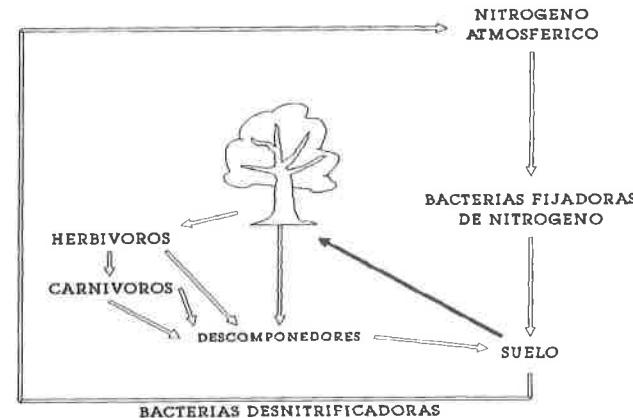


Fig. 88. Esquema simplificado del ciclo del nitrógeno.

ello la importancia de los descomponedores. No sólo la mayoría de la energía fluye a través de la cadena de los descomponedores, sino que la acción de estos es crucial para que no se agote el suministro de materiales.

Ahora bien, podríamos pensar que, tarde o temprano, toda la cantidad de un elemento que entra en el ciclo debe de retornar al comienzo. Sin embargo, inesperadamente esto no es del todo así. No todos los elementos que liberan los descomponedores son absorbidos por las plantas, ni los vegetales incorporan a sus tejidos sólo elementos que proceden de los descomponedores.

En un ecosistema pueden ingresar materiales que no proceden de la descomposición de la materia orgánica. La fracturación y erosión de las rocas, puede proporcionar nuevos elementos. También la lluvia, los animales o el propio hombre pueden efectuar ingresos de materiales. En sentido contrario, el agua arrastra materiales constantemente. Estos materiales pueden quedar fijados al suelo y convertirse en inasequibles para las plantas o pueden ser



Fig. 89. En un bosque de encinas, la biomasa vegetal está situada sobre todo en las ramas.

depositados en los ríos, que a su vez los trasladan al mar, en donde pueden quedar almacenados en el fondo.

Por los datos que se conocen, parece que generalmente la gran mayoría de los materiales se encuentran dentro de los seres vivos o de sus residuos y desechos. Es decir, están en forma de biomasa. En cualquier ecosistema terrestre, suelen entrar menos materiales de los que se escapan, debido a que las lluvias arrastran elementos de la tierra y las rocas. Ello significa que el reciclado de los materiales gracias a los descomponedores, aporta casi toda la materia. La materia de los ecosistemas generalmente ni entra ni sale, sino que es reciclada.

En raras ocasiones, la cantidad de un elemento que se exporta hacia afuera del ecosistema, es superior a la cantidad presente en la biomasa. El azufre es actualmente una de esas excepciones. En los bosques templados, los ríos y los arroyos transportan más azufre del que existe dentro del propio bosque. Esto se debe a la contamina-



Fig. 90.

ción. Las emanaciones gaseosas de los combustibles que utilizamos, contienen compuestos de azufre que al mezclarse con el vapor de agua atmosférico, hacen que la lluvia sea en realidad ácido sulfúrico diluido. Estos compuestos, junto a los óxidos de nitrógeno, son los principales responsables de la denominada lluvia ácida. En el norte y centro de Europa, las lluvias ácidas están destruyendo los bosques, los ríos y los lagos. Pero también están produciendo una sobre fertilización que cambia la vegetación.

La salida de materiales se incrementa sustancialmente, cuando se elimina la cubierta vegetal de un territorio. La deforestación significa aumentar en varias veces, la tasa de exportación de todos los elementos químicos necesarios para la vida. Como los descomponedores siguen actuando, se liberan elementos materiales, pero estos no pueden ser incorporados por las plantas y se pierden arrastrados por el agua. Además, en un efecto

multiplicativo, la lluvia tiene más capacidad de erosión si no hay vegetales sobre el suelo. Todo esto trae consigo que, en un breve plazo, los suelos resulten ser improducitivos y no permitan el crecimiento vegetal.

El proceso es mucho más acelerado en el caso de los bosques tropicales. Los descomponedores actúan tan rápidamente debido a la temperatura, y los elementos minerales son incorporados a la biomasa vegetal con tanta celeridad, que apenas hay materia orgánica en el suelo. En estas circunstancias, las precipitaciones pueden convertir la zona en un desierto. Casi la tercera parte de las tierras cultivadas del mundo, han sido destruidas por la erosión durante el último siglo. En España, la situación en este sentido es muy preocupante. Más del 25 por 100 de nuestra superficie sufre procesos de erosión muy graves y otro 25 por 100 padece una erosión moderada. Esto supone, en realidad, la práctica desertización de la mitad del territorio de nuestro país.



Fig. 91.

Los ecólogos han estudiado los ciclos de numerosos elementos y compuestos. Estos materiales van transitando por diferentes compartimentos (suelo, seres vivos, atmósfera, etc.) a distintas velocidades. Para el hombre es muy importante saber el tiempo de permanencia de estos materiales en cada compartimento y conocer las regulaciones que dan lugar al equilibrio de estos ciclos. Puede decirse sin exageración, que estas cuestiones son trascendentales y que nos ayudarán a evaluar la gravedad y resolver los desajustes producidos. No hay más que pensar, que hemos trastocado la circulación de algunos elementos y que hemos introducido nuevos compuestos en los ciclos naturales.

El agua es el compuesto vital que caracteriza a la Tierra y su circulación se conoce con cierta profundidad. El vapor de agua que produce las nubes, procede de la

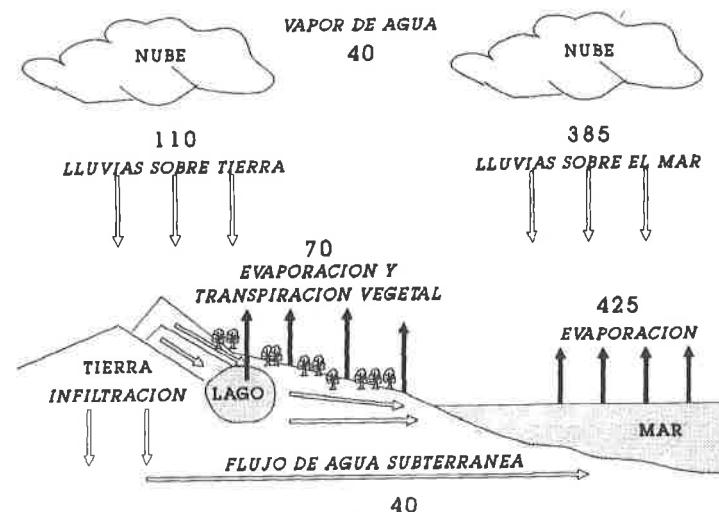


Fig. 92. Esquema del ciclo del agua en la Tierra. Las cantidades son kilómetros cúbicos de agua al año.

evaporación de agua terrestre y marina. Como la superficie del mar apenas varía, el aporte de vapor de agua marina se puede decir que es más o menos constante. Sin embargo, la superficie de las aguas continentales si ha variado y la deforestación también ha disminuido la transpiración vegetal. Estos factores pueden disminuir la cantidad de precipitaciones, sobre todo en regiones alejadas del mar. Si además hace calor, la pérdida de agua es mucho más intensa. En estas circunstancias, una disminución de la evaporación provoca menores lluvias, éstas a su vez disminuyen todavía más la superficie del agua, produciéndose una aceleración dramática en la pérdida de las precipitaciones.

El ciclo del carbono ha adquirido también una notable importancia últimamente. El carbono se haya almacenando en cuatro depósitos fundamentales: la atmósfera, el mar, los seres vivos y los combustibles fósiles. En la atmósfera, el carbono se encuentra bajo la forma de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ). En el mar, el anhídrido carbónico está disuelto en el agua. En los seres vivos, el carbono es parte fundamental de toda la materia orgánica. Por tanto, también se presenta en los combustibles fósiles (carbón o petróleo), ya que éstos son restos mal descompuestos de materia orgánica.

El carbono es incorporado a las plantas, y por tanto a todos los seres vivos, únicamente a través de la atmósfera. Los materiales de los combustibles fósiles estaban, de este modo, fuera de los ciclos naturales. Eran reservorios en donde el carbono permanecía estancado. Antes de la revolución industrial, prácticamente el único aporte de carbono regular a la atmósfera, provenía de la degradación de la materia orgánica por medio de los descomponedores. El mar también aporta carbono, pero en una cantidad mucho menor. La cantidad de carbono en el mar es 50 veces mayor que en la atmósfera, pero el intercam-

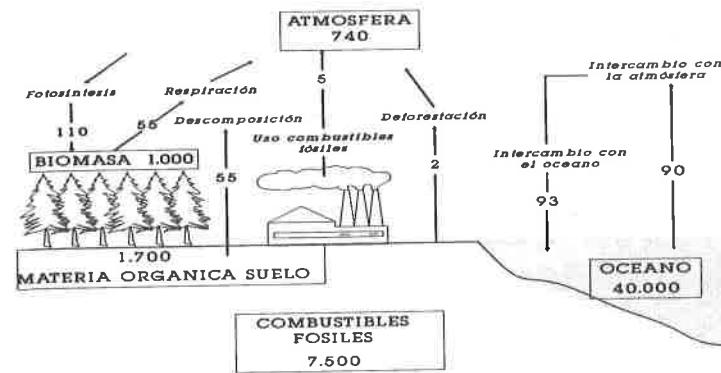


Fig. 93. Esquema del ciclo del carbono, en donde se indican los cinco depósitos fundamentales de carbono y sus reservas. También se representan los intercambios más importantes. Obsérvese que la atmósfera recibe más carbono, por el uso de los combustibles fósiles y por la deforestación. El mar, en cambio, absorbe más carbono del que desprende, considerando tanto los procesos biológicos como los físicos. Las cantidades son miles de millones de toneladas.

bio de  $\text{CO}_2$  con el aire es muy lento, ya que sólo puede producirse en superficie. Si disminuyese la cantidad de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, la reserva del mar podría restablecer el equilibrio rápidamente.

La actuación de los descomponedores ha sido pues, el principal agente liberador de carbono a la atmósfera y ello ha permitido la productividad vegetal. La atmósfera sólo contiene un 0,03 por 100 de  $\text{CO}_2$  y la capacidad fotosintética de las plantas, podría acabar en 40 años con las reservas de este compuesto en el aire. Así que, las plantas tendrían que parar de fijar anhídrido carbónico si los descomponedores no actuasen.

El ciclo del carbono es de vital interés para el desarrollo de la vida sobre nuestro planeta, porque este elemento es parte constituyente de la materia viva. Sin embargo, el

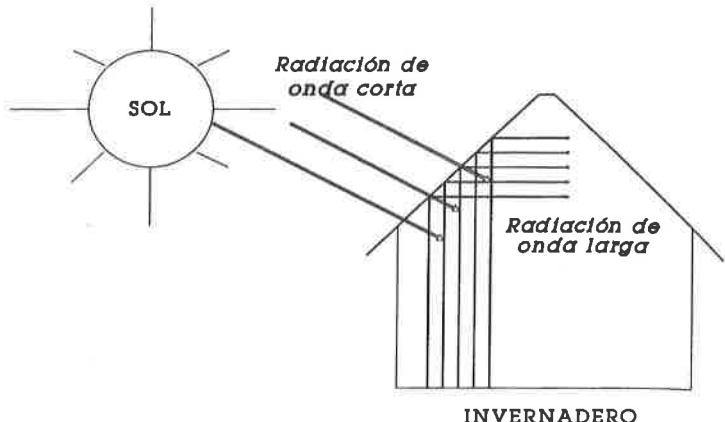


Fig. 94.

ciclo del carbono ha adquirido interés en la actualidad debido a que el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera está modificando el clima. Desde el siglo pasado se sabía que el anhídrido carbónico produce un efecto invernadero. Los cristales de un invernadero dejan pasar la radiación de onda corta procedente del sol, esta radiación calienta el suelo y desde allí el calor, que es una radiación de onda larga, calienta el aire. Pero los cristales actúan como una barrera e impiden que el aire caliente cercano al suelo se mezcle con el aire frío de fuera, con lo que el calor queda atrapado en el invernadero.

El vapor de agua y el CO<sub>2</sub> ejercen un efecto similar. También son transparentes a las radiaciones de onda corta, pero no a las de onda larga. En este caso, no es que hagan de barrera e impidan que ascienda el aire caliente, es que las nubes o el anhídrido carbónico absorben el calor y lo devuelven hacia la superficie terrestre. Este efecto invernadero es tan efectivo, que la temperatura media en la superficie terrestre es unos 33 grados más alta que la que se observa desde el espacio.

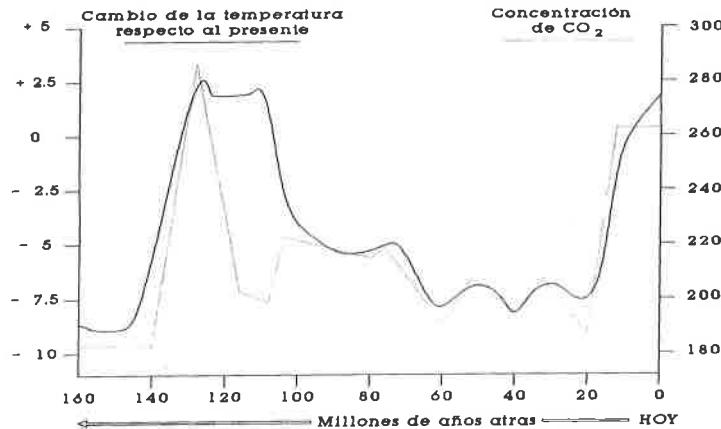


Fig. 95. Oscilación de la temperatura y de la concentración de CO<sub>2</sub> en partes por millón, durante los últimos 160 millones de años. Cero grados corresponde a la temperatura media actual.

Desde 1958, se han realizado en Hawái mediciones precisas del contenido en CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Así, ha podido comprobarse que el contenido atmosférico de CO<sub>2</sub> terrestre ha aumentado un 20 por 100 durante este período. No hay que pensar que el CO<sub>2</sub> es el único responsable del efecto invernadero. Los clorofluorcarbonos y el metano contribuyen también significativamente. Con gran precaución y detalle, se ha examinado si la temperatura media del planeta también se ha incrementado. Esto es difícil, ya que en muchas partes del planeta, no se ha registrado la temperatura hasta muy recientemente. Estos estudios señalan que el aumento de temperatura ha sido de, al menos, uno o dos grados centígrados durante el último siglo. ¿Es esta una evidencia de la actuación del efecto invernadero?

El problema está en conocer si el incremento en el contenido de CO<sub>2</sub> acompaña a las subidas de temperatura,

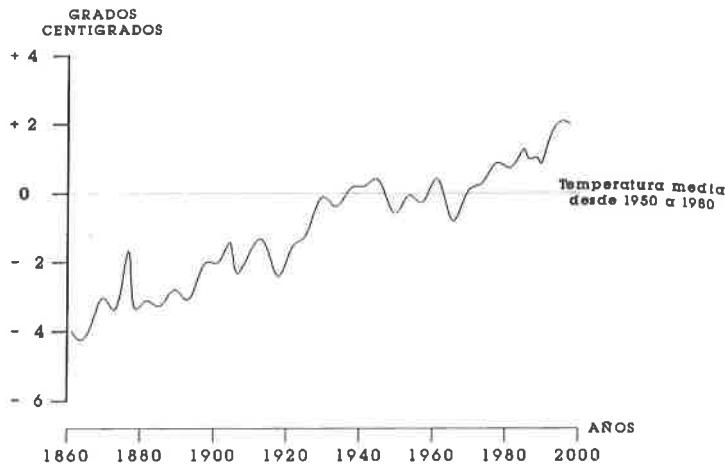


Fig. 96. Cambio de la temperatura aproximado durante los últimos cien años. El valor cero es la temperatura media del planeta de 1950 a 1980.

o si es el factor responsable de estas subidas. Se sabe que el contenido en anhídrido carbónico y la temperatura, han variado conjuntamente durante los últimos 160.000 años, pero no se puede asegurar que el CO<sub>2</sub> haya sido la causa de esas variaciones térmicas. En el pasado, lo más probable es que la temperatura cambiara como a consecuencia de la acción de otros factores, por ejemplo, la modificación en el eje de rotación terrestre. En este caso, si la temperatura aumenta, la actuación de los descomponedores es mayor y esa podría ser la causa del alto contenido en CO<sub>2</sub>.

Actualmente se barajan dos posibilidades, una optimista y otra pesimista. Para la hipótesis optimista, la deforestación disminuye la capacidad de utilizar el anhídrido carbónico atmosférico y el consumo de combustibles fósiles, lanza a la atmósfera cantidades enormes de

CO<sub>2</sub>. Pero, en contrapartida, el mar puede absorber más CO<sub>2</sub> de la atmósfera y las plantas pueden aumentar su productividad. De este modo, existirá una compensación que impedirá que haya aumentos importantes de la temperatura a causa del efecto invernadero.

Para la hipótesis pesimista, un ligero calentamiento puede desencadenar una reacción en cadena que acelere el proceso. Bajo la forma de materia orgánica muerta, los suelos albergan el doble de cantidad de CO<sub>2</sub> que la atmósfera. También hay mucho CO<sub>2</sub> apresado en los pantanos, las turberas, los suelos árticos y en los fondos marinos poco profundos. Un aumento de la temperatura, podría provocar una mayor actuación de los descomponedores y una liberación acelerada de CO<sub>2</sub>, con el consiguiente aumento de temperatura.

Lo que si se sabe es que para el año 2.050 la concentración de CO<sub>2</sub> se habrá duplicado. Se han elaborado

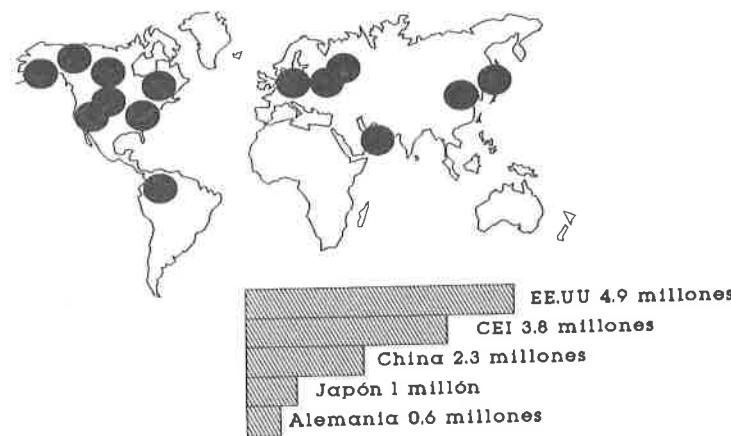


Fig. 97. Lugares con más producción y principales países generadores de CO<sub>2</sub> en millones de toneladas anuales.

distintas modelos para prever las repercusiones de un cambio de este tipo. Todas los modelos concuerdan en que una duplicación del contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico, puede significar un aumento de la temperatura media terrestre entre 3 y 5 grados centígrados. Un calentamiento de este tipo sería equivalente al que aconteció durante la última glaciación, pero casi 10 veces más rápido. Sin necesidad de ser alarmistas, es evidente que ello supondría la modificación de la capacidad agrícola de casi todos los territorios, la pérdida de biodiversidad, el aumento del nivel marino y la escasez de agua potable.

## RETOS Y FRONTERAS DE LA ECOLOGIA

La situación medioambiental del planeta, sin llegar a ser desesperada, es altamente preocupante. Ante esta situación, la ciencia de la Ecología ha tenido que asumir un papel cada vez más relevante en la gestión de los recursos. Aunque ignoramos muchas cosas, los conocimientos que poseemos deberían ser una referencia obligada en toda planificación. Olvidarlo puede llevarnos a situaciones cada vez más complicadas e irreversibles.

La Ecología no vaticina catástrofes inmediatas o futuras, pero tiene que llamar la atención si se toman decisiones marginando los conocimientos existentes. Desgraciadamente, se reflexiona en clave ecológica cuando se quiere averiguar la posible evolución de un problema, pero no se toman en cuenta sus argumentos, cuando se trata de planificar el desarrollo que provocó el problema. Es necesario estudiar a fondo las alternativas que existen ante cada situación, antes de averiguar la solución o el modo de gestión más adecuado.

Si nos encontramos un fármaco en la calle, a nadie se le ocurriría ingerirlo sin conocer sus efectos. Para saber las propiedades, las contraindicaciones o la dosis adecuada de cualquier droga, han sido necesarias largas y tediosas investigaciones. De este modo, cuando nos receptionan un fármaco, tenemos la seguridad de que sus efectos

van a ser más benéficos que perjudiciales. A todo el mundo le parece lógico proceder de este modo. Sin embargo, estamos esquilmando y contaminando los recursos del planeta, sin apenas conocer las repercusiones que pueden ocasionar. La humanidad entera está embarcada en una serie de gigantescos experimentos, cuyos resultados apenas somos capaces de prever. No se trata de catastrofismo, se trata de actuar con lógica.

Nos puede parecer que hay tiempo, que todavía no estamos notando los efectos de estos experimentos. Probablemente esto es falso. Uno de los mayores experimentos que estamos realizando, es la tasa de crecimiento poblacional. Hay 5.200 millones de personas en el planeta y cada año esta cifra aumenta un 1,8 por 100. Como consecuencia, las 2/3 partes de la humanidad están sufriendo las repercusiones de la escasez y el mal reparto de los recursos.

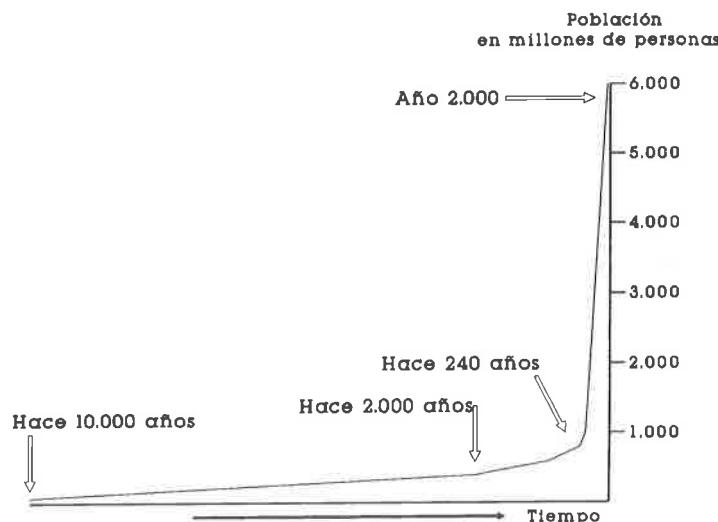


Fig. 98.

Naturalmente, podrían tomarse ya muchas medidas efectivas para la solución de los desajustes ambientales, pero ese no es problema de la Ecología. En cambio, si es asunto suyo obtener conocimientos más precisos y asesorar e informar a los ciudadanos.

A finales de los 80, la Sociedad Americana de Ecología realizó un estudio acerca de las fronteras de esta ciencia. ¿Cuáles han de ser las prioridades en la investigación ecológica del siglo XXI?

Desconocemos cuáles son los determinantes de la diversidad de las comunidades. Ignoramos bastante sobre las razones de la desigual abundancia de las especies y no sabemos por qué algunas tienen que ser tan raras. No tenemos un inventario fiable de la biodiversidad, ni sabemos mucho acerca de por qué aparecen unas especies y no otras en un territorio. Tampoco tenemos mucha idea acerca de cómo pueden afectar las nuevas condiciones ambientales, así que, ni podemos asegurar que organismos formarán parte de las comunidades tras una perturbación, ni dar una estimación fiable de cuantos dejarán de existir.

¿Qué factores gobiernan el tamaño y la estructura de las poblaciones? Estamos fragmentando la naturaleza y aislando a las especies en parcelas de menor tamaño. Ante esto, tenemos una ligera idea acerca de como influye el tamaño del área sobre los organismos y las comunidades, pero ignoramos de qué modo afecta la fragmentación del área a la supervivencia. Tampoco sabemos el grado de plasticidad de los seres vivos ante los cambios ambientales, ni como se modifican las poblaciones ante esos cambios. Muchos contaminantes han propiciado ya la aparición de variedades resistentes en algunos organismos. Los cambios del clima o de los ciclos de nutrientes, ¿pueden promover también variedades resistentes? ¿Qué tipo de organismos se modificarán? ¿Cuáles son los seres

vivos que más posibilidades tienen de sobrevivir? ¿Cómo serán las comunidades del mañana?

Algunos estudios han permitido conocer cómo responden determinados ecosistemas ante las perturbaciones. Es necesario seguir avanzando en este terreno. Comprobar como responden distintos ecosistemas ante las mismas perturbaciones, y conocer cómo afectan a un mismo ecosistema diferentes clases de perturbaciones. También hemos logrado describir algunos ciclos de materiales y flujos de energía, pero no sabemos casi nada acerca de cómo se regulan esos ciclos y flujos. Además, ¿qué papel ejercen los organismos en la regulación de estos ciclos?

Estos son sólo algunos de los interrogantes que tiene planteados la Ecología. La naturaleza es compleja. Es un sistema en donde interaccionan tantos factores, que es imposible elaborar respuestas precisas y lineales. Tratar de explicar el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas, requiere relacionar los conocimientos de muchas disciplinas. Por eso, cada vez será más difícil definir la Ecología. En una ciencia de síntesis que, inevitablemente, tenderá a crecer y nos deparará grandes dosis de placer intelectual.

En el terreno práctico, la prueba de fuego de la Ecología se presenta cuando intentamos restaurar o manejar los ecosistemas. Apenas sabemos cómo reforestar con vegetación autóctona un suelo erosionado, y desconocemos cuales son los criterios efectivos que han de tenerse en cuenta en el diseño de una reserva o un parque natural. El avance en el conocimiento ecológico de base, será fundamental para resolver los problemas ambientales. Por ahora, sabemos mucho acerca de lo que sería mejor no hacer, pero poco sobre lo que ocurrirá.

## ÍNDICE

Enfocando el asunto .....	5
Comenzamos .....	9
Los dominios de la Ecología .....	17
Sistemas y ecosistemas .....	21
El todo y la suma de las partes .....	35
Midiendo la complejidad .....	47
La diversidad en el espacio .....	59
¿Por qué hay biodiversidad? .....	65
La fuerza del presente: luchando y huyendo .....	85
Contra tus semejantes .....	103
Cuántos somos y de dónde venimos .....	109
Flujos y pirámides .....	121
Los ciclos de los materiales .....	137
Retos y fronteras de la Ecología .....	151

**Serie «CONTACTO»**

**1.—Los pájaros.**

Angeles de Andrés y Antonio Sacristán.  
Prólogo de Joaquín Araújo (2.ª ed.).

**2.—Los anfibios y reptiles.**

V. Pérez Melero y A. Sacristán (2.ª ed.).

**3.—Los mamíferos.**

Miguel Delibes y Joaquín López Rojas (2.ª ed.).

**4.—Los árboles.**

Mercedes Alsina y Rafael Aburto.

**5.—Los peces.**

Joaquín Muñoz Cobos y Manuel Merino.

**6.—Los invertebrados de agua dulce.**

Antonio García Valdecasas y Nacho Vaticón.

**7.—Las plantas medicinales.**

Joaquín Jiménez y Fernando López Herencia.

**8.—Las mariposas.**

Javier Sánchez y J. M. Clemen.

**9.—Las setas. (Agotado).**

Joaquín G. Cano, R. Aburto y J. R. Ballesteros.

**10.—Las plantas de interior.**

Elio Dombriz y Fernando López Herencia.

**11.—Conocer la naturaleza.**

Fernando L. Rodríguez y J. R. Ballesteros.

**12.—Las aves rapaces.**

Antonio Manzanares y Fernando López Herencia.

**13.—Las especies protegidas.**

Joaquín Araújo y Juan M. Varela.

**14.—La vida en el suelo.**

Francisco Rueda y Jorge M. Lobo.

**15.—Los cetáceos.**

A. Casinos y Salvador Filella.

**16.—El cuerpo y la salud.**

J. García y E. S. Silvela.

**17.—La base de la genética.**

Varios autores.

**18.—Las aves urbanas.**

Ramón Díaz e Iñaqui Díez.

- 19.—**El hombre fósil.**  
José Alcázar y Natalio Bayo.
- 20.—**El laboratorio de Ciencias Naturales.**  
M. I. Sánchez y A. Palomar.
- 21.—**Las plantas tintoreras.**  
Maribel G. Polo y Romano Giusdici.
- 22.—**La base de la Química.**  
Augusto Ibáñez.
- 23.—**Guía de las Huellas, Marcas y Señales.**  
S. Serrano y J. J. Cicuéndez.
- 24.—**La base de la Física.**  
Javier Amante.
- 25.—**Plano y Brújula.**  
Luis Gilpérez Fraile.
- 26.—**Los fósiles. (Huellas de la Evolución).**  
Miguel G. Ramos.
- 27.—**Los insectos y el Hombre.**  
Carmela Guerrero y Francisco Rueda.
- 28.—**La Electrónica en tus manos.**  
Antonio Llorente y Raúl Frías.
- 29.—**La base de las Matemáticas.**  
Andrés Sofio.
- 30.—**La base de la Informática.**  
Antonio Casas.

#### Serie «ECOSISTEMAS»

- 1.—**El Bosque Mediterráneo.**  
Susana Casado y Alfredo Ortega.

El término Ecología está actualmente en boca de todo el mundo. Sin apenas conocer los fundamentos y las fronteras de esta ciencia, cada vez un mayor número de personas tienen el convencimiento de que el mundo en el que vivimos es el resultado de la interacción de muchos factores, no todos controlados, y de que las decisiones económicas y políticas que definen nuestro actual modo de vida, pueden estar influyendo sobre nuestro futuro inmediato como especie. Este sentimiento empapa paulatinamente la cultura de nuestras sociedades y, tal vez, constituya uno de los rasgos fundamentales de nuestro tiempo.

El objetivo prioritario de este libro consiste en divulgar algunos de los conocimientos más comúnmente aceptados por la ciencia ecológica e interesar sobre algunos de los interrogantes actuales más polémicos, dejando constancia de lo poco que sabemos en muchas cuestiones y ocasiones.

