

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/281821117>

Teorías de la ciencia – Primeras aproximaciones

Book · January 2016

CITATIONS

0

READS

81,986

5 authors, including:



Santiago Ginnobili

National Scientific and Technical Research Council

56 PUBLICATIONS 218 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mariela destefano

Universidad de Buenos Aires

11 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Reconstrucciones racionales en la biología y sus consecuencias socialmente relevantes. [View project](#)



Models and Theories in Physical, Biological, and Social Sciences [View project](#)

TEORÍAS DE LA CIENCIA

PRIMERAS APROXIMACIONES

Santiago Ginnobili
Mariela Natalia Destéfano
Sabrina Haimovici
Martín Narvaja
María del Carmen Perot

 *Peudeba*

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Rector	Alberto Edgardo Barbieri
Vicerrectora	Nélida Cervone
Secretaria de Asuntos Académicos	María Catalina Nosiglia
Subsecretaria de Innovación y Calidad Académica	Marilina Lipsman

PROGRAMA UBA XXI

Directora	Claudia Lombardo
Vicedirectora	Constanza Necuzzi
Coordinación Desarrollo Pedagógico	María Alejandra Codazzi Alicia M. Zamudio
Coordinación Producción Transmedia	Liliana Castillo
Edición	Ariadna Pou Patricia Bucich Beatriz Hall
Diseño	Ariel F. Guglielmo
Autores	Santiago Ginnobili Mariela Natalia Destéfano Sabrina Haimovici Martín Narvaja María del Carmen Perot

Ginnobili, Santiago / Mariela Natalia Destéfano /
Sabrina Haimovici / Martín Narvaja / María del Carmen Perot.

Teorías de la Ciencia. Primeras aproximaciones/

2ª ed. - Buenos Aires: Eudeba, 2016

320 p. 14x21 cm.



Eudeba

Universidad de Buenos Aires

Segunda edición:

© 2016

Editorial Universitaria de Buenos Aires

Sociedad de Economía Mixta

Av. Rivadavia 1571/73 (1033) Ciudad de Buenos Aires

Tel.: 4383-8025/Fax: 4383-2202

www.eudeba.com.ar

ISBN

Impreso en Argentina.

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

ÍNDICE

Presentación	9
Introducción	11
Capítulo I. Historia de la ciencia. Dos revoluciones	23
Introducción	23
1. Primera parte: La Revolución copernicana	25
1.1. Astronomía, cosmología y física	26
1.2. Los fenómenos celestes	28
1.3. Dos máximos modelos del mundo	36
1.4. La ciencia aristotélica, cosmología y física	41
1.5. La astronomía antigua	46
1.6. El pensamiento de Copérnico	51
1.7. La astronomía de Brahe y de Kepler	57
1.8. El aporte galileano	61
1.8.1. Galileo y el telescopio	62
1.8.2. Galileo y la relatividad del movimiento	63
1.9. Epílogo: Newton	67
Actividad	73
2. Segunda parte: La Revolución darwiniana	74
2.1. El creacionismo: supuestos filosóficos subyacentes	75
2.2. El debate entre evolucionistas y creacionistas antes de Darwin	81
2.3. La Revolución darwiniana	88
2.4. Las consecuencias filosóficas de la teoría de Darwin	97
Actividad	102
Síntesis del capítulo	103
Para ampliar	105
Bibliografía	107
 Capítulo II. Nociones básicas de lógica	 109
Introducción	109
1. Razonamientos	110
1.1. La noción de validez y una clasificación de los razonamientos	111
Actividad 1	117
2. Lógica proposicional simbólica	118
2.1. El lenguaje de la lógica proposicional simbólica	119
2.1.1. Conjunción	121
2.1.2. Disyunción inclusiva	123

2.1.3. Negación	125
2.1.4. Condicional	125
2.1.5. Bicondicional	128
2.2. Las formas proposicionales	128
Actividad 2	130
2.3. Las formas de los razonamientos	132
Actividad 3	134
2.4. Tablas de verdad con más de una conectiva	136
Actividad 4	142
2.5. Tautología, contradicción y contingencia	143
2.6. Prueba de validez de razonamientos por condicional asociado	145
Actividad 5	147
3. Algunas formas de razonamiento importantes	154
3.1. <i>Modus ponens</i> y <i>Modus tollens</i>	154
3.1.1. <i>Modus ponens</i>	155
3.1.2. <i>Modus tollens</i>	156
Actividad 6	158
3.2. Falacias formales	158
3.2.1. Falacia de negación del antecedente	159
3.2.2. Falacia de afirmación del consecuente	160
Actividad 7	161
Actividad 8	162
3.3. Un ejemplo de uso de <i>Modus tollens</i> y falacia de afirmación del consecuente	163
Síntesis del capítulo	168
Para ampliar	170
 Capítulo III. Conceptos, hipótesis y contrastación	 171
Introducción	171
1. Tipología de conceptos	173
1.1. Conceptos cualitativos (o clasificatorios)	174
1.2. Conceptos comparativos	176
1.3. Conceptos cuantitativos (o métricos)	176
Actividad 1	177
2. Tipología de enunciados	178
2.1. Distinción teórico-observacional	178
2.2. Distinción entre tipos de enunciados	179
2.2.1. Enunciados básicos	181
2.2.2. Generalizaciones empíricas	182
2.2.3. Enunciados teóricos	183

Actividad 2	183
3. Contrastación de hipótesis	185
3.1. Asimetría de la contrastación	187
Actividad 3	189
3.2. Hipótesis subsidiarias que intervienen en la contrastación	190
3.2.1. Hipótesis auxiliares	192
3.2.2. Cláusulas <i>ceteris paribus</i>	193
3.3. Contrastación con todos los componentes señalados	193
Actividad 4	195
Actividad 5	195
3.4. Hipótesis <i>ad hoc</i>	196
3.5. Holismo de la contrastación	199
Actividad 6	200
Actividad 7	200
4. El papel de la inducción en la ciencia	201
Actividad 8	206
Actividad 9	207
Actividad 10	208
Actividad 11	209
Actividad 12	211
Síntesis del capítulo	216
Para ampliar	219
Bibliografía	219

Capítulo IV. Estructura y cambio de teorías: diferentes perspectivas filosóficas

	221
Introducción	221
1. Empirismo lógico	222
1.1. Principales influencias sobre el Empirismo lógico	224
1.2. Acerca de “la concepción científica del mundo” y sus objetivos	225
Actividad 1	231
1.3. Elucidaciones conceptuales	231
Actividad 2	237
2. Concepción clásica de teoría	238
Actividad 3	242
3. Problemáticas acerca de la base empírica	243
3.1. Fundacionismo	243
3.2. Carga teórica de los enunciados básicos	244
3.3. Carga teórica de la observación	247
3.4. Consecuencias	251

Actividad 4	252
4. Concepción kuhniana de la ciencia	253
4.1. Modelo de cambio científico	254
4.2. La estructura del paradigma	263
4.3. Influencias	269
Actividad 5	271
Actividad 6	272
Actividad 7	274
Actividad 8	277
Actividad 9	278
Actividad 10	278
5. El problema de la teorividad	279
Actividad 11	284
6. Síntesis desde el Estructuralismo metateórico	285
6.1. Distinción T-teórico/T-no teórico	286
6.2. Leyes fundamentales	287
6.3. Campo de aplicación	288
6.4. Leyes especiales	290
6.5. Validez del análisis clásico de la contrastación	292
Actividad 12	295
Actividad 13	296
Actividad 14	296
7. ¿Existe un único método en la ciencia?	296
7.1. Explicación vs. comprensión	298
7.2. Ciencia vs. pseudociencia	305
7.3. Leyes fuera de la física	308
Actividad 15	310
Actividad 16	312
Actividad 17	313
Síntesis del capítulo	315
Para ampliar	316
Bibliografía	317

PRESENTACIÓN

UBA XXI es un programa de educación a distancia, que asume los desafíos de la Educación Superior en el contexto actual. La propuesta pedagógica se sustenta en estrategias de enseñanza orientadas a promover y a consolidar aprendizajes de calidad en todos aquellos que opten por continuar sus estudios en la Universidad de Buenos Aires.

El Programa, a través del trabajo articulado de sus equipos técnicos, pedagógicos y docentes, elabora materiales didácticos en diferentes soportes.

Este texto, *Teorías de la ciencia. Primeras aproximaciones*, propone un acercamiento a la ciencia a través de su historia, interpela a todos los que se preguntan por su origen y estimula la reflexión sobre las herramientas por las que el relato científico se construye y justifica.

UBA XXI a través de múltiples medios y plataformas de comunicación posibilita que los estudiantes asuman un rol activo en el aprendizaje, cada vez más autónomo, para conducir su propio proceso de formación y accedan, en este caso, a contenidos de la materia Introducción al Pensamiento Científico.

Los invitamos a leer *Teorías de la ciencia. Primeras aproximaciones* con la intención de orientar el interés por los temas aquí tratados y despertar, asimismo, el deseo por nuevas lecturas.

Claudia Lombardo
Directora UBA XXI

INTRODUCCIÓN

1. El relato científico

Somos un animal más, formado por millones de seres vivos unicelulares que funcionan de manera organizada y especializada. Estos pequeños organismos son semejantes y parientes de los miles de organismos invisibles que pueblan cada gota de agua que ingerimos. Las instrucciones de nuestro desarrollo y crecimiento se encuentran codificadas en una molécula altamente compleja, que llamamos “ADN”. Evolucionamos a partir de alguna forma de vida muy simple. El proceso evolutivo siguió por un camino contingente y sin dirección prefijada por millones y millones de años, períodos que nuestra mente limitada no puede concebir o imaginar. Entre esas contingencias se encuentra la que llevó a la extinción a nuestros primos más cercanos, los otros miembros del género, Neandertales y *Homo erectus*, con los que convivimos un largo tiempo. Somos la única especie de nuestro género, y una especie joven, en la que no hay variedades definidas. Nuestros familiares más cercanos son los grandes simios, chimpancés, bonobos, orangutanes, gorilas, etc. Chimpancés y bonobos son genéticamente casi idénticos a nosotros y, sin embargo, no podemos comunicarnos con ellos más que tangencialmente. Tal vez, sea esta soledad la que provocó en nosotros la sensación de que éramos especiales, de que teníamos un origen divino, pero nuestras facultades mentales son muy semejantes a las de otros animales.

Habitamos un planeta que, aunque no lo sentimos, rota sobre sí mismo y gira alrededor de una estrella, una bola de gas encendido, que llamamos “Sol”. El Sol es una entre las casi infinitas estrellas que, agrupadas en galaxias, pueblan el universo. La luz de una porción mínima y cercana de estas estrellas llega a nosotros adornando el cielo nocturno. La luz está formada por fotones, entidades de comportamiento extrañísimo. Cuando vemos una estrella, es porque a nuestro ojo llega, luego de un viaje extremadamente largo a una velocidad incomprensiblemente rápida, un grupo de fotones que surgió en esa estrella. Lo que vemos cuando dirigimos la vista o nuestros instrumentos al cielo es, entonces, el pasado. Parte de lo que percibimos son las reverberaciones de un estallido, de la explosión más grande que jamás haya ocurrido, aquella en la que nuestro universo se originó.

De manera parcial, esta es la leyenda que nos cuentan, a través de historias, películas, revistas, y, luego, en las diversas instituciones educativas a las que asistimos. Es muy distinta de aquella que nuestros ancestros contaban a sus hijos alrededor de la fogata previa a un día de caza, y seguramente es muy distinta de la que hoy cuentan aborígenes del Amazonas que nunca tuvieron conexión con nuestra cultura, y que cada tanto ven perturbada su paz por enigmáticas máquinas ruidosas y brillantes que cortan rugiendo el cielo. Esta leyenda se parece en algunos aspectos a la que les contaron a nuestros abuelos, pero difiere en otros aspectos fundamentales. Creemos en cierta medida en este relato, lo naturalizamos y deja de sorprendernos. No nos cuestionamos, por ejemplo, que la Tierra se mueve velozmente aunque seamos incapaces de percibirlo. Principalmente, no nos preguntamos por el origen y el fundamento de esta idea exótica. Sin embargo, el relato con el que abrimos tiene algo de peculiar frente a otros posibles que se han contado en otras latitudes y tiempos. Tal peculiaridad no tiene que ver con sus contenidos, tan o más estrambóticos que otros, sino con la forma en que el relato fue

construido, con los métodos que se utilizaron para confeccionarlo. Esos métodos son los que permiten caracterizar lo que hoy llamamos “ciencia”. A diferencia de otros relatos, el científico es mejorable, provisorio y, probablemente, sea reemplazado en muchas de sus partes en el futuro; y no se caracteriza por aquello que dice, sino por el modo en que se construye. Aprender ciencia, por lo tanto, no consiste solo en aprender una serie de datos o volverse experto en la narración de una leyenda particular. Consiste en adquirir métodos de trabajo específicos. A veces, en los documentales de comunicación de la ciencia y en los programas de materias en instituciones educativas, esto se olvida. Entonces se pasa a enseñar ciencia como si ese relato particular que en el momento se sostiene fuese lo característico de la actividad científica, olvidando su carácter esencialmente provisorio y mejorable. Sin embargo, la historia de cómo el conocimiento científico actual fue construido, las razones por las cuales se piensa hoy que es el más plausible y la reflexión acerca del método o los métodos utilizados, es tan interesante como el relato científico mismo.

Este libro trata justamente de reflexionar sobre la ciencia. Si se deja de considerar a la ciencia como un conjunto de datos fríos, y se la piensa en base a su historia, se tiñe de un color mucho más llamativo, se vuelve heroica y adquiere belleza. La ciencia no es algo que hace un grupo de gente con intereses extraños, sino que es efecto de la curiosidad sobre nuestro origen y nuestra naturaleza, curiosidad que todos y cada uno de nosotros compartimos. La historia de la ciencia es, en este sentido, nuestra propia historia y pensar la ciencia, es pensarnos a nosotros mismos.

2. Pensar la ciencia

El tema central de este libro lo constituye la reflexión respecto a las herramientas por las que el relato científico se construye y justifica. La disciplina desde la que se discute y piensa este tema es la Filosofía de la Ciencia (a veces llamada también “epistemología”). ¿Qué es lo que distingue a la ciencia de otras actividades humanas? ¿Cómo se justifica el relato científico a diferencia de otros relatos? ¿Existen diferencias entre el lenguaje científico y otros tipos de lenguaje? ¿Existe un único método que todas las diferentes ciencias actuales tienen en común? ¿Existe un único método a lo largo de toda la historia de la ciencia? Todas estas son preguntas que el filósofo de la ciencia intenta responder. No existe un acuerdo absoluto entre los diferentes filósofos de la ciencia en las respuestas específicas que reciben estas preguntas. Sin embargo, en el intento por responderlas, hemos aprendido mucho y la discusión ha resultado progresiva. En este libro intentaremos introducir a los lectores en estas discusiones, y en el estado actual de la disciplina en cuestión.

Una primera conclusión respecto a la reflexión en torno a la ciencia es que no se la puede describir a lo largo del tiempo como una sucesión de creencias acerca del mundo. Pues cuando comparamos la ciencia actual con la ciencia que, por ejemplo, Aristóteles practicaba en la Grecia antigua, comprobamos que la misma naturaleza de la ciencia ha cambiado sustancialmente. La historia de la ciencia, no solo es la historia de la construcción de las creencias actuales acerca del mundo, sino que es la historia en la que nuestra concepción misma respecto de la ciencia ha sido moldeada. Esto lleva a que cualquier intento de reflexión acerca de la naturaleza de la ciencia tenga que estar históricamente informado. Del mismo modo en que para entender la estructura corporal de los humanos actuales es interesante estudiar el modo en que nuestro cuerpo evolucionó a partir de formas diferentes, resulta relevante y fructífero para

discutir la naturaleza de la ciencia actual, discutir cómo esta naturaleza ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. Por este motivo, en el primer capítulo se presentarán los dos cambios más importantes e influyentes sobre la ciencia actual, tanto en su contenido como en su naturaleza: la revolución copernicana y la revolución darwiniana. Como la intención es que este libro pueda ser leído por personas —en particular estudiantes que inician su formación universitaria— que aún no han abordado el estudio en profundidad de una ciencia particular, el propósito de este capítulo, además, será proporcionar material para la reflexión posterior.

En esta publicación nos centraremos en las ciencias fácticas, es decir las ciencias como la geología, la psicología, la sociología, la física, la biología, etc., que se ocupan de estudiar diversos aspectos del mundo, en contraposición con las ciencias formales, como la matemática y la geometría. Una característica esencial de nuestra concepción actual del conocimiento fáctico es que debe ser sometido al juicio de la experiencia sensible. Los científicos, sean del área disciplinar que sean, deben justificar sus ideas a partir de la observación y la experimentación. En este sentido, un científico es como un detective, quien para resolver un crimen propone hipótesis y teorías, e intenta decidir entre ellas a partir de indicios y pistas encontradas en la escena del crimen. El científico, también como el detective, debe “inferir” a partir de la información recabada, cuál de las diferentes hipótesis o teorías explicativas es la más adecuada. El estudio de la naturaleza y el método (o los métodos) de la ciencia, en consecuencia, presupone el estudio respecto a las diferentes inferencias que pueden realizarse de los enunciados que describen la experiencia y aquellos que intentan explicarla. La disciplina que estudia los diferentes tipos de inferencia es la Lógica. El segundo capítulo del libro intentará introducir al lector en esta temática.

Una vez abordados los temas que se desarrollan en los primeros dos capítulos, tendremos las herramientas necesarias para comenzar a “pensar la ciencia”, objetivo central del presente libro. El científico se enfrenta a ciertos fenómenos, decíamos, como un detective se encuentra con una escena del crimen. Los científicos quieren explicar, por ejemplo, por qué los hijos se parecen en cierta medida a sus padres, por qué los planetas describen ciertos movimientos, por qué al excavar encontramos huesos fosilizados de organismos parecidos pero diferentes a los que hoy habitan determinada zona, por qué la mortalidad infantil varía de país en país, etc. Para dar cuenta de estos fenómenos, el científico propone ciertas hipótesis explicativas y tiene que encontrar medios para decidir entre la más adecuada. El proceso por el cual el científico somete sus hipótesis a la prueba de la experiencia, es llamado “contrastación”. El análisis lógico de la contrastación será tratado en el tercer capítulo del libro. Este análisis requerirá de las herramientas de la lógica abordadas en el segundo capítulo.

Sin embargo, ¿puede pensarse que el método por el cual los científicos contrastan sus hipótesis a partir de la experiencia permite explicar de manera completa la práctica científica?, ¿y que la ciencia consiste solo en proponer hipótesis y contrastarlas? Como veremos en el cuarto capítulo, ha habido diferentes posiciones para responder a estas preguntas a lo largo del tiempo. Por una parte, el conocimiento científico no es un conjunto de hipótesis explicativas aisladas, sino que posee una estructura más compleja. Por otra parte, el cambio en la historia de la ciencia no puede reducirse a la actividad de contrastación de hipótesis. En este capítulo la exposición seguirá un criterio histórico: presentaremos algunos de los principales enfoques del siglo XX respecto a la naturaleza de las teorías científicas y al modo en que estas cambian, las discusiones y diferencias entre ellos. El estudio de estos enfoques o perspectivas respecto de las teorías científicas y del cambio de teorías nos permitirá aprender mucho sobre la ciencia, así como desandar algunos prejuicios.

3. Pensamiento acerca de pensamiento

La ciencia estudia el mundo. Nosotros, desde la filosofía de la ciencia, estudiamos la ciencia. La filosofía de la ciencia es, en este sentido, una reflexión de segundo orden, un pensamiento acerca del pensamiento científico. Suele utilizarse el prefijo “meta” para referirse a los estudios de segundo orden. Como toma por objeto a la ciencia, se dice que la filosofía de la ciencia es un tipo de estudio “metacientífico”. También se suele decir que es un estudio “metateórico”, por tomar como objeto a las teorías científicas. Existen otros enfoques metacientíficos. En algunos casos, la ciencia se vuelve sobre sí misma. Por ejemplo, algunos antropólogos, entran en un laboratorio científico para analizar según sus propias categorías las relaciones que allí se producen entre los científicos. O, por citar otro ejemplo, los sociólogos de la ciencia aplican sus teorías para comprender el modo en que se organizan las comunidades científicas. Lo que diferencia a la filosofía de la ciencia de estos otros estudios, que también serían metacientíficos, es el tipo de preguntas que intenta responder.

Pero para tener una visión previa del tipo de cuestiones tratadas desde la filosofía de la ciencia, puede ser interesante señalar la diferencia que hay entre el conocimiento implícito y explícito. Existen dos modos en los que se puede decir que alguien sabe hacer algo. Por ejemplo, se puede afirmar que un niño de 5 años sabe las reglas de conjugación de ciertos verbos. Así, cuando dice “puniste” en lugar de “pusiste”, se puede pensar que existe un modo en que conoce una regla de conjugación pero que todavía no conoce sus excepciones. Sin embargo, y esto es sumamente interesante, el niño es incapaz de formular tal regla. Este conocimiento de las reglas, llamado normalmente “saber implícito”, es el que nos permite afirmar que alguien sabe hablar a la perfección cierto idioma. El otro modo de conocer las reglas, el de saber formularlas, es, en el caso de la lengua, tarea del gramático. Se ha llamado a este tipo de saber: “explícito”. El estudio de las

reglas implícitas que gobiernan las prácticas científicas es una de las tareas de la filosofía de la ciencia. De la misma manera en que es posible hablar perfectamente un idioma sin poder explicitar las reglas a las que responde, es posible hacer ciencia sin poder explicitar las reglas que gobiernan su desarrollo. La analogía con la gramática puede extenderse: conocer las reglas gramaticales de un lenguaje no implica que sepamos hablarlo, y el estudio de la filosofía de la ciencia no nos convierte en científicos. Pero tampoco, ser hablantes de un idioma nos vuelve expertos en gramática. De la misma manera, un científico, aunque domine su área con experticia, no necesariamente puede explicitar las reglas que gobiernan su área. Un científico no es, en tanto científico, un filósofo de la ciencia.

De la misma forma en que el científico crea marcos conceptuales y teorías para hablar de su objeto, los filósofos de la ciencia crean marcos conceptuales y teorías para dar cuenta de los diferentes aspectos de la ciencia con los que tratan. Esto, por supuesto, es una distinción de tareas. Ha habido sujetos que han tenido influencias enormes en el campo de la ciencia y en el de la filosofía de la ciencia, pero lo han hecho en tanto expertos en ambas áreas. La experticia en una de las áreas no habilita para el dominio de la otra.

Una característica interesante de la reflexión de segundo orden es su dificultad intrínseca. En algunos casos analizaremos métodos que ustedes ya conocen (implícitamente). Por ejemplo, la contrastación de hipótesis científicas no es diferente de la contrastación de hipótesis en la vida cotidiana. Un científico intentando explicar un fenómeno no es diferente a quien intenta explicar fenómenos como por qué se cortó la luz, por qué no funciona un velador, etc. El tipo de procedimientos implicados son muy semejantes, como veremos. Sin embargo, aunque ustedes estén familiarizados con tales procedimientos, esto no implica que el aprender a hablar de manera adecuada de ellos sea una tarea sencilla. Podemos continuar

con la analogía con la gramática para ilustrar el punto. Saber hablar un idioma a la perfección no hace que aprender su gramática sea sencillo. La tarea de pensar acerca de lo que uno hace es complejísima. Piensen en alguna tarea que dominen (manejar un auto, patinar, manejar una bicicleta, afinar una guitarra, cocinar un huevo frito, esquiar) y que alguna vez hayan tratado de explicar a otro que no la domina. Nada más fácil que manejar, nada más difícil que explicar a alguien cómo se maneja. Es más, si a uno le explicitan las reglas implícitas que efectivamente sigue, puede ser que ni siquiera las reconozca como propias.

¿Para qué adentrarnos en una reflexión de este tipo?

Volver explícito el saber implícito es una tarea difícil. Por otra parte, el estudio de este libro con temáticas heterogéneas implicará un desafío particular para los lectores, pues al cambiar de capítulo, debe cambiarse el enfoque, el tipo de problemas que se discute, el tipo de ejercicios a realizar. ¿Para qué realizar semejante esfuerzo? Las razones son diversas.

La primera respuesta, consiste en señalar que trata de un saber interesante por sí mismo. Y aunque a veces tengamos la sensación de que la ciencia es algo que hace gente extraña con intereses ajenos a los propios, la verdad es que la concepción del mundo que tenemos, hayan estudiado una materia científica o no, está completamente permeada por el conocimiento científico. La ciencia influye en nuestras vidas no solo a través de sus aplicaciones tecnológicas, no solo cuando usan un teléfono para comunicarse o toman un antibiótico para curarse de una infección determinada. La forma en que actualmente nos sentimos y actuamos frente a humanos de otras etnias, o frente a primates no humanos encerrados en un zoológico, lo que provoca la inmensidad del cielo nocturno, todo eso está fuertemente determinado por nuestra concepción científica actual del mundo, y es completamente diferente

al modo en que se sentían y actuaban personas en el pasado. Incluso nuestra propia percepción, como veremos más adelante, ha sido modificada por la ciencia. Lo que vemos cuando miramos la luna al anochecer no es lo mismo que veía Aristóteles. **Que la ciencia sea más importante en nuestras vidas de lo que suponemos, hace que el estudio de la naturaleza de la ciencia, adquiera relevancia por sí mismo.**

Existen, además, razones utilitarias en las cuales el estudio de la filosofía de la ciencia les resultará, si tenemos éxito, interesante. Por una parte, si son científicos o si alguna vez se conviertan en uno, el trabajo de clarificación y explicitación de las reglas en su mayor parte implícitas que gobiernan el accionar de los científicos tiene un papel fundamental para el desarrollo de la ciencia misma. Los científicos se encuentran constantemente inmersos en disputas que no son científicas en sí mismas (a veces, son conocidas como cuestiones de fundamentos de la ciencia). En consecuencia, existe un trabajo, cuyos frutos son valiosos para la práctica científica, que consiste en el análisis y clarificación de estas disputas, tareas filosóficas estas últimas que pueden colaborar con la resolución de dichas disputas.

Por otra parte, considerando de nuevo que se desarrollan o desarrollarán en una actividad científica, los científicos en su práctica habitual, necesariamente, **se ven obligados a hablar de aquello que hacen** y, para eso, **requieren lenguaje metateórico**. En la práctica científica habitual, es necesario apelar a conceptos como “contrastar”, “explicar”, “confirmar”, “observar que”, etc. **Mejorar el marco conceptual metateórico que los científicos utilizan en sus prácticas no puede más que beneficiar a dichas prácticas.**

Finalmente, los trabajos aclaratorios y elucidatorios de los que venimos hablando, y que se verán en acción a lo largo del libro, colaborarán en

sus tareas docentes, si es que alguna vez lo son (del mismo modo que la gramática puede colaborar con la enseñanza de un idioma).

Hay otra forma de mostrar la relevancia de este tipo de estudios. Ya no únicamente para justificar el interés que puede revestir para un científico estudiar la temática, sino por razones que pueden afectarnos a todos, nos dediquemos a la actividad científica o no. Los análisis que realizaremos pueden ser presentados de un modo más abarcativo, no como una reflexión filosófica al respecto de la ciencia, sino como una reflexión filosófica acerca del modo en que contrastamos y validamos nuestras creencias acerca del mundo, y acerca de los límites de esta validación. La reflexión acerca del modo en que puede llevarse a cabo la discusión entre científicos que tienen concepciones del mundo contrapuestas permite comprender la forma en que, en algunos casos, estos desacuerdos se producen en la vida cotidiana. Los estudios realizados en el marco de la filosofía de la ciencia permiten desarrollar modos de pensar más claros, precisos y comunicables que resultarán útiles también en áreas no científicas.

Si logran realizar con éxito el camino propuesto, entenderán la forma en que estas diversas tareas representadas en los diferentes capítulos se integran, tendrán una comprensión más profunda de la ciencia, pero además, tendrán herramientas más sofisticadas para entender mejor la concepción que ustedes mismos tienen acerca del mundo, las razones por las cuales tienen esta concepción y no otra, y el grado de certeza que brindan dichas razones. Eso, por supuesto, si hemos tenido éxito en la consecución de las metas que nos propusimos en la confección del libro. Si es así, esta propuesta colaborará para que piensen y expresen más claramente su pensamiento, lo cual es de vital importancia sigan una carrera científica o no.

Las metas son ambiciosas, pero esperamos que la recompensa será proporcionalmente valiosa.

Capítulo I

HISTORIA DE LA CIENCIA DOS REVOLUCIONES

Introducción

Difícilmente puedan escribirse mejores palabras introductorias a un texto de historia de la ciencia que aquellas con las que el historiador Alexandre Koyré iniciaba sus *Estudios Galileanos* publicados en 1966:

Afortunadamente, hoy ya no es necesario insistir en el interés que ofrece el estudio histórico de la ciencia, ni tampoco es necesario –luego de las magistrales obras de un Duhem, un Emile Meyerson, y las de Cassirer y Brunschvicg– insistir en el interés y ricos conocimientos que aporta este estudio desde el punto de vista filosófico. En efecto, el análisis de la evolución (y de las revoluciones) de las ideas científicas –única historia que (junto con la de la técnica) da un sentido al concepto de progreso, tan ensalzado como criticado– nos pone de manifiesto las contiendas libradas por la mente humana con la realidad; nos revela sus derrotas, sus victorias; muestra qué esfuerzo sobrehumano le ha costado cada paso en el camino de la comprensión de lo real, esfuerzo que condujo, en ocasiones, a una verdadera “mutación” en el intelecto humano: transformación merced a la cual algunas nociones laboriosamente “inventadas” por los más grandes genios llegan a ser no sólo accesibles, sino incluso fáciles y evidentes para los escolares. (Koyré, 1966, 1)

El valor y la importancia de la historia de la ciencia en relación con la filosofía de la ciencia son fundamentales. Las principales nociones estudiadas por esta última, la noción de teoría, la noción de hipótesis, el análisis de los motivos y fundamentos de su aceptación o de su rechazo

carecen de sentido si se los aísla por completo de los episodios que la constituyen, es decir, aquellos que encarnan concretamente los conceptos discutidos por los filósofos de la ciencia. La historia de la ciencia, de sus productos y, también, de sus procesos, es un punto de central relevancia para el conocimiento del pensamiento científico al que estamos aquí dedicados. El objetivo principal de este capítulo es favorecer la identificación, comprensión y análisis de los episodios históricos y desarrollos teóricos implicados en dos de las construcciones intelectuales más importantes de la historia del pensamiento científico de Occidente: la revolución copernicana y la revolución darwiniana.

El capítulo I se divide en dos partes. La primera está dedicada al estudio de la constitución de la física moderna y al gran sistema teórico sobre el cual se impuso: la concepción aristotélico-ptolemaica. La segunda parte se ocupa del surgimiento de la teoría de la evolución y de la conformación de la biología moderna. La noción de revolución, empleada universalmente para referirse a ambos procesos científicos, será analizada más adelante, cuando se discutan las ideas sobre la naturaleza de las teorías científicas y del progreso científico a partir del capítulo IV. Conviene adelantar, sin embargo, algunas cuestiones. La idea de revolución es antigua y proviene de la astronomía; una revolución es la expresión empleada para un ciclo que concluye y vuelve a empezar. De esta manera, su concepto se refiere a aquello que vuelve a su origen y retoma su curso. A partir de la modernidad, la idea de revolución adquiere un rasgo más: la revolución pasa a ser, también, aquello que da lugar a lo nuevo. Así, su volver a empezar involucra la aparición de algo distinto, algo que no estaba antes. Las llamadas revoluciones científicas –no solo la revolución copernicana y la darwiniana– son ejemplos de esto último: el poner en cuestión un gran conjunto de saberes acumulados, asociados a un ciclo previo que se cerraba, y un volver a empezar a partir de nuevas bases. A continuación, esta formulación que, presentada de este modo, puede resultar abstracta, y lo es, adquirirá un significado mucho más concreto.

1. Primera parte

La Revolución copernicana

Entre los siglos XV y XVIII, Europa experimentó una gran transformación cultural dando lugar a la sociedad moderna que proveería las bases simbólicas y materiales de la vida política y civil actuales -propiedad privada, derechos individuales, libertad religiosa, estados constitucionales laicos, democracia. Estos cambios se vieron reflejados en el arte, la tecnología, la música, la producción de bienes y en el lugar otorgado a las creencias religiosas. La ciencia no estuvo ajena a estas transformaciones y la Revolución copernicana, de la que nos ocuparemos en esta primera parte del documento, es un desarrollo crucial en la transformación que sufrió la concepción de la naturaleza y de la ciencia natural.

La Revolución copernicana tiene como hito la publicación del libro *Sobre las revoluciones de las esferas celestes* (Copérnico, 1543) de Nicolás Copérnico (1473-1543), conocido abreviadamente en latín como *De revolutionibus*. En este, Copérnico proponía una nueva concepción del cosmos a fin de ordenar y comprender las observaciones astronómicas realizadas hasta ese entonces. La idea principal era explicar los movimientos de las estrellas, el Sol, la Luna y los planetas partiendo de la base de que la Tierra giraba alrededor del Sol. Es decir proveer una explicación astronómica precisa a partir de un cambio en la cosmología (concepción del universo). Si bien, desde el punto de vista cosmológico esta idea no era nueva, ya la había desarrollado el astrónomo griego Aristarco de Samos (c. 310 a.C. – c.230 a.C.), Copérnico fue el primero que la desarrolló sistemáticamente, satisfaciendo las exigencias profesionales de la comunidad de astrónomos; es decir, fue el primero que hizo el arduo trabajo de cálculo, trabajo que demoró décadas.

En los años sucesivos a la publicación del *De revolutionibus*, las ideas copernicanas ganaron cada vez un mayor número de adeptos, pero la propuesta planteaba un conjunto de problemas a resolver, no solo desde el punto de vista de la astronomía (abocada a predecir y describir matemáticamente los cambios de posiciones de los astros), sino también para la física (ocupada del cambio en general y de los movimientos de los objetos en la Tierra) y para la cosmología (que busca presentar una imagen acerca del universo). La respuesta a estos interrogantes supuso una nueva cosmovisión que solo se iría conformando a través de un trabajo colectivo y continuo hasta adquirir su forma más o menos definitiva con el trabajo de Isaac Newton (1642-1727), en el siglo XVII, y los posteriores de Pierre Simon Laplace (1749-1827), Simeón Denis Poisson (1781-1840) y William Hamilton (1805-1865).

En este capítulo, presentaremos los principales acontecimientos que conformaron la Revolución copernicana y plantearemos algunas cuestiones que contribuyan a ordenarlos.

1.1. Astronomía, cosmología y física

Si bien egipcios y babilonios, antes, y chinos, mayas e indios, en otras latitudes, observaron el cielo con precisión, elaboraron calendarios, predijeron eclipses y pensaron acerca de la naturaleza del mundo que nos rodea, fueron los griegos quienes a partir del siglo VI antes de Cristo iniciaron la tradición científica occidental en la que posteriormente se inscribirían los trabajos de los filósofos y científicos modernos, defensores del copernicanismo. Pero ¿por qué?, ¿qué hicieron los griegos? La diferencia fundamental entre los trabajos e investigaciones realizados por los filósofos griegos a partir del siglo VI a.C. y los de sus pares de la Mesopotamia asiática y de Egipto fue el carácter “racional” de sus explicaciones de los fenómenos celestes y terrestres.

Si bien hay muchas clases de explicación, quizás la caracterización más justa sea decir que **una explicación es la respuesta a la pregunta por un porqué**. Si se preguntara: ¿Por qué durante el día hace más calor que durante la noche?, una explicación sería la respuesta: “Porque el Sol, que es la fuente de luz es también fuente de calor, así que día y calor van de la mano.” Si se preguntara: ¿Por qué se hundió el Titanic?, podrían darse varias explicaciones, “Porque chocó con un iceberg”, “Porque dejó de estar lleno de aire y, entonces, su peso fue mayor al del agua que su volumen desplazaba”, “Por la ambición de los dueños de la compañía White Star que querían que atravesara el Atlántico en tiempo récord”. Si se preguntara: ¿Por qué un ciclista está pedaleando en dirección sudoeste?, una explicación podría ser: “Porque quiere llegar a un lugar que está en esa dirección”. Finalmente, si se preguntara: ¿Por qué todo lo que nace tiene que morir? Una explicación sería: “Porque así lo han dispuesto los dioses”. Todas estas preguntas son legítimas en su contexto y, en ese contexto, también lo son sus respuestas, las explicaciones.

Los griegos tomaron dos decisiones fundamentales con respecto a las explicaciones. En primer lugar, **excluir aquellas que involucraban elementos sobrenaturales o extranaturales.** Es decir, los griegos desarrollaron una cosmovisión en la cual los fenómenos que tienen explicación son **explicados apelando a la naturaleza de las cosas, sin la intervención de dioses o de otros elementos mágicos y adecuando permanentemente esas explicaciones a las evidencias que ofrece la experiencia.** En segundo lugar, **vincular las preguntas por el cambio, el movimiento y la naturaleza de las cosas en general, de las que se ocupa la física, con aquellas acerca de los fenómenos que se observan en los cielos -el día y la noche, las estaciones del año y el calendario- a los que se dedicaba la astronomía, y con las preguntas más filosóficas acerca de la forma y estructura del universo y del mundo en que vivimos, preguntas cosmológicas.**

De este modo, entre los siglos VI a. C. y II de nuestra era, se fue conformando una **cosmovisión científica de la naturaleza** que debía incluir una **explicación coordinada de los fenómenos astronómicos celestes, los fenómenos físicos terrestres y una imagen acerca de la forma del universo en el cual ocurrían**. Cosmovisión en la cual la **explicación de los fenómenos debía residir en la naturaleza misma de las cosas**.

1.2. Los fenómenos celestes

Los principales fenómenos cíclicos terrestres -el día y la noche y las estaciones del año- **están fuertemente correlacionados con fenómenos cíclicos celestes**— las posiciones relativas y movimientos del Sol y las estrellas. Como consecuencia de esta correlación, y siendo de **fundamental importancia para las sociedades antiguas y modernas** que dependen fuertemente de la agricultura, conocer y prever la llegada del invierno y del verano, de la temporada de lluvias o de inundaciones, resultaba esencial también **poder determinar y prever los movimientos de los cuerpos celestes**. Dado que la diferencia entre los días y las noches así como las estaciones del año son por todos bien conocidos, esta sección está dedicada a presentar sus contrapartes celestes, es decir, a la cuestión de: ¿cuáles son los fenómenos celestes que se repiten cíclicamente?

Incluso la mirada más casual al cielo nota un cambio cíclico que se repite más o menos regularmente: la alternancia del día y la noche. Cada mañana, el Sol aparece en algún punto del este, mientras está presente es de día y, cuando ha desaparecido en algún punto del oeste, cae la noche. Los demás fenómenos celestes exigen una observación más atenta, pero no son en esencia más complejos que el recién mencionado.

La mayor parte de los puntos luminosos que se observan en el cielo durante las noches despejadas se desplazan conjuntamente, esta constancia

de sus posiciones relativas hace que el aspecto del cielo sea semejante cada noche y a lo largo de la misma. Desde antiguo, **algunos conjuntos de esos puntos luminosos, a los que se suele llamar constelaciones**, han adquirido nombres en función de su forma: así la constelación de Orión, la Osa mayor, y muchas otras (ver Figura 1).

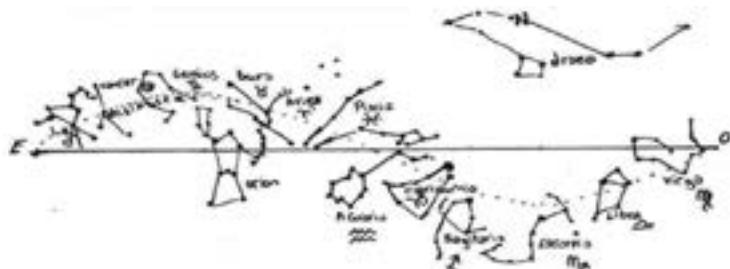


Figura 1. Panorama celeste y la representación de algunas de sus constelaciones

Una segunda característica de los puntos luminosos que conforman las constelaciones, además de conservar sus posiciones relativas, es que **se mueven describiendo círculos a velocidad constante de este a oeste**, es decir, en el sentido contrario al de las agujas del reloj si se mira al norte. El **tiempo que estas luces emplean en completar una vuelta es de 23 horas y 56 minutos (duración del llamado día sideral)**. Aquellos puntos luminosos que cumplen estas condiciones son llamadas **estrellas fijas** (por la invariabilidad de las figuras que conforman). En el polo norte celeste, centro de los círculos descriptos, se encuentra la denominada estrella polar, solo visible desde el hemisferio norte, que no cambia de posición de forma apreciable y es visible durante toda la noche (ver Figura 2).

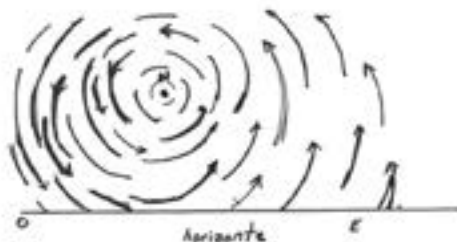


Figura 2. El movimiento diario de las estrellas, mirando hacia el norte desde el hemisferio norte

Al mirar hacia el sur desde nuestro hemisferio, en el polo sur celeste, no hay una estrella en el centro de giro, pero lo que se observa es semejante: **estrellas describiendo círculos concéntricos**, las más cercanas al polo, círculos más pequeños y siempre visibles, y las más lejanas, círculos mayores. Al igual que el Sol, las estrellas más lejanas a los polos “salen” y “se ponen”, es decir, solo son visibles únicamente durante parte de la noche.

Los movimientos del Sol

El Sol es el cuerpo celeste más llamativo, su presencia o ausencia determinan el día y la noche y, no menos importante, su movimiento está asociado a las estaciones del año. Al igual que las estrellas, el Sol presenta un **movimiento diario en sentido antihorario**, es decir de este a oeste, empleando en ello **24 horas**. De este modo, **el día sidéreo y el día solar no coinciden** (23 horas 56 minutos contra 24 horas). La consecuencia principal de esta diferencia es el cambio en la posición relativa del Sol con respecto a las estrellas fijas. Si bien, para observar este cambio sería necesario poder **ver simultáneamente al Sol y a las estrellas fijas**, lo cual no es posible porque cuando el Sol está presente las estrellas fijas no son visibles, desde antiguo se emplea un **método de observación indirecto**. Tal método consiste en el **registro de las posiciones de las estrellas fijas que aparecen inmediatamente después de la puesta del Sol**. **A lo largo de un año, puede observarse un cambio progresivo, consecuencia de los 4 minutos de diferencia entre el día sidéreo y el solar.**

Imagínese una carrera de atletismo en pista, en la cual un larguísimo pelotón de corredores da una vuelta a la misma demorando 23 horas 56 minutos, en tanto que un corredor solitario demora 24 horas en dar la misma vuelta. La carrera se da en la oscuridad y una fuerte luz ilumina y sigue al corredor solitario (que acaso es popular y tiene mejores patrocinadores que los demás). Cada vez que el corredor pasa por la salida se

saca una foto. En la largada se observará al corredor solitario en cierto punto del pelotón, al completar su primera vuelta, 24 horas más tarde, la foto evidenciará un cambio en la posición del corredor con respecto al pelotón (que lo ha adelantado en 4 minutos), lo mismo en la segunda vuelta y así sucesivamente. Si tras muchas vueltas se superpusieran las fotos de cada paso por el punto de partida, podría verse un movimiento aparente del corredor solitario recorriendo el pelotón hacia atrás. Si la carrera tiene lugar en sentido antihorario, las fotos evidenciarían un movimiento del corredor solitario en sentido horario. Ese corredor solitario es el Sol, que a lo largo de un año, además de su movimiento este-oeste diario, parece tener un movimiento anual en el sentido contrario (oeste-este) con respecto a las estrellas fijas.

Ya desde la antigüedad, y antes incluso de que lo hicieran los griegos, los primeros astrónomos registraron de manera metódica las posiciones sucesivas del Sol sobre el fondo de las estrellas fijas a lo largo de un año y determinaron que el recorrido anual del Sol describía un círculo que no coincidía en su eje con respecto al de las demás estrellas. Esto suponía una segunda diferencia con respecto a las estrellas fijas (la primera es la que se acaba de señalar, la diferencia entre el día sidéreo y el solar), las estrellas fijas siempre se mantienen a la misma distancia de los polos. Si una estrella se encuentra a 30° de la estrella polar su giro siempre la mantendrá a la misma distancia (la imagen del movimiento diario de las estrellas, Figura 2, es la misma para cualquier día del año). Los movimientos diarios del Sol durante una época del año describen círculos más cercanos al polo norte celeste y otras más cercanas al polo sur. Veremos, a continuación, que el cambio de la cercanía del círculo diario del Sol a los polos es la causa de las estaciones.

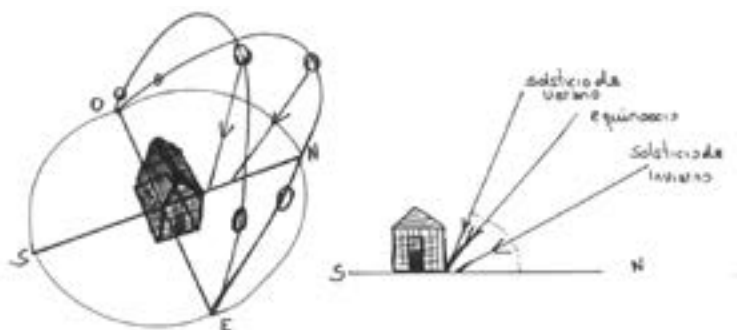


Figura 3. Incidencia de los rayos del Sol en solsticios ($23,5^\circ$ al norte y al sur del Ecuador) y en los equinoccios (coincidiendo con el Ecuador)

Como se evidencia en la Figura 3, hay cuatro puntos claves en el recorrido anual del Sol: los puntos extremos norte y sur, que definen los llamados solsticios, y los puntos medios, que definen los equinoccios. El primero de ellos se corresponde al 22 de diciembre (solsticio de verano del hemisferio sur); alrededor de esa fecha, el Sol se encuentra más cercano al polo sur, los días son más largos que las noches, en nuestro hemisferio la Tierra recibe los rayos solares de forma directa y la temperatura asciende. El segundo es nuestro solsticio de invierno (22 de junio), en esa fecha el Sol sale y se pone más cerca del norte, las noches son más largas, la incidencia de los rayos solares sobre nuestro hemisferio es oblicua y las temperaturas más bajas. En tercero y cuarto lugar, tenemos los equinoccios de primavera (23 de septiembre) y de otoño (21 de marzo). En estos puntos el Sol se encuentra equidistante de ambos polos, sale por el este (y no por el noreste o sudeste como en los solsticios) y se pone por el oeste (y no por el noroeste o sudoeste como en los solsticios). En estas fechas, la duración de días y noches es aproximadamente la misma.

Para dar una idea más clara de lo que acabamos de decir puede resultar conveniente desarrollar un ejemplo. Tomaremos cuatro ciudades: Buenos Aires (34° , latitud Sur), Nueva York (40° , latitud norte), Quito (si-

tuada sobre el ecuador, capital de Ecuador) y Nuuk, principal ciudad de Groenlandia (64° , latitud norte). En el solsticio de diciembre, en Buenos Aires es verano y los días son sensiblemente más largos que las noches, mientras que Nueva York se encuentra en pleno invierno con días cortos y noches más largas. Inversamente ocurre el 22 de junio, cuando aquí es invierno y en Nueva York verano. En Nuuk, que se encuentra dentro del círculo polar ártico, durante el solsticio de diciembre, y en los días previos y subsiguientes, la noche dura veinticuatro horas; el Sol hace su recorrido tan al sur que nunca aparece sobre el horizonte. Contrariamente, en el solsticio de junio se experimenta el llamado Sol de media noche y el día dura veinticuatro horas; el Sol se encuentra tan al norte que no llega a ponerse en el horizonte. La situación en Quito, situada sobre el ecuador, ofrece una duración semejante del día y de la noche durante todo el año y, al igual que las áreas que se encuentran entre los trópicos, ofrece un clima en el cual las estaciones del año no se corresponden directamente con una variación de temperaturas.

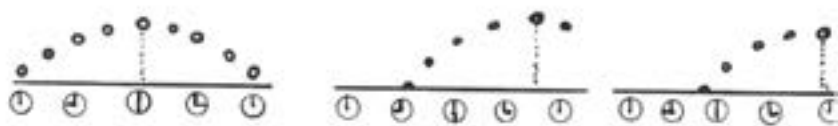


Figura 4. Recorrido diario del Sol en el solsticio de junio visto desde Nuuk, Nueva York y Quito

Para concluir con las observaciones que corresponden al Sol, mencionaremos un último fenómeno, de menor relevancia pero que no podemos omitir, llamado **precesión de los equinoccios**. Hemos dicho que el Sol hace un recorrido en dirección horaria sobre el fondo de estrellas fijas. Esto permite establecer la medida de un año como **el tiempo que requiere al Sol en volver a pasar sobre una determinada constelación**. Este año se denomina **año sidéreo** y su duración es de **365 días, 6 horas, 9 minutos y 9 segundos**. Hemos dicho, también, que el Sol pasa por dos puntos ex-

tremos al norte y al sur, denominados solsticios. Esto permite, también, establecer la medida de un año como el tiempo que requiere al Sol el volver a situarse en el extremo norte o sur de su recorrido. Este año se denomina año trópico, y su duración es de 365 días, 5 horas, 48 minutos y 45 segundos. Resulta, así, evidente que el año sidéreo y el año trópico no coinciden. El efecto de este desfase es que el inicio de las estaciones se anticipa cada año. Este adelantamiento, no obstante, es mínimo y, en la medida de la vida humana, imperceptible. Para que el desajuste fuera de una estación completa sería necesario esperar 6.500 años.

Los movimientos lunares

Los movimientos de la Luna son análogos a los del Sol. Por un lado, un movimiento diario en sentido antihorario (semejante al de las estrellas fijas) y un movimiento mensual en la dirección contraria (análogo al anual del Sol) a través del fondo de estrellas fijas, demorando en volver a pasar por delante de la misma constelación 27 días 7 horas 43 minutos (mes sidéreo). Por otra parte, la Luna manifiesta fases que se suceden, también, cíclica y mensualmente de la Luna llena a la nueva pasando por los cuartos creciente y menguante. Estas fases dependen de las posiciones relativas del Sol, la Tierra y la Luna y se repiten cada 29 días, 12 horas 44 minutos (mes sinódico). Los eclipses solares y lunares son, asimismo, consecuencia de las posiciones relativas de los tres astros.

Los movimientos planetarios

Finalmente, pero constituyendo un punto central para la discusión posterior, es necesario referirse a los planetas, también conocidos como astros errantes, luces cuyos movimientos resultan mucho más complejos y difíciles de describir y, consecuentemente, prever. A ojo desnudo, es decir, sin instrumentos ópticos como el telescopio, pueden observarse cinco

planetas desde la Tierra: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno (Hermes, Afrodita, Ares, Zeus y Cronos respectivamente, para los griegos). Todos ellos **comparten el movimiento diurno de las estrellas fijas en dirección antihoraria**. Asimismo, al igual que el Sol y la Luna, **se desplazan sobre el fondo de las estrellas fijas en dirección horaria** (es decir, hacia el este). Así como la Luna tiene un período de un mes y el Sol de un año, **cada planeta tiene su período característico**, siendo el más breve el de Mercurio (de aproximadamente un año) y el más largo el correspondiente a Saturno (de aproximadamente 29 años). Los planetas manifiestan, además, una característica particular que es común a todos ellos: el fenómeno de las “**retrogradaciones**” (ver Figura 5). **Su recorrido cíclico en dirección este no se da a velocidad constante, sino que, a veces, parecen detenerse, avanzar sobre el fondo de estrellas fijas en dirección oeste y, luego, volver a retroceder**. Varían, además, sus posiciones con respecto al polo Norte celeste (y al Sol), pueden estar más al norte, o más al sur (hasta un máximo de 8° al norte o al sur del Sol).

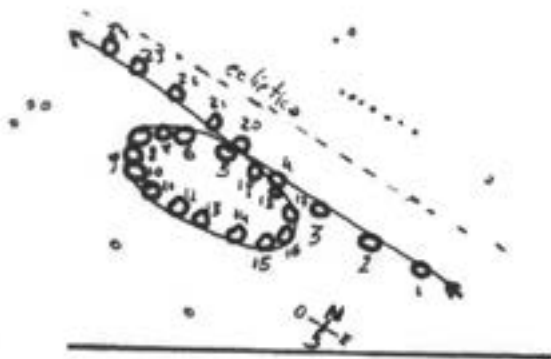


Figura 5. Posiciones diarias sucesivas de un planeta en plena retrogradación

Mencionamos más arriba que el movimiento anual del Sol era análogo al de un corredor solitario en una carrera en pista. El movimiento de los planetas es semejante, con una complicación ulterior. La pista ahora es

como las de ciclismo (con los carriles centrales a una altura inferior a los carriles externos). El movimiento diario del pelotón en dirección anti-horaria sigue inalterado. Allí, el Sol cada día atraviesa la meta rodeado de atletas un poco más atrasados del largo pelotón. Los planetas hacen algo distinto en cada vuelta. Si bien, en líneas generales van quedando rezagados, como el Sol, algunas vueltas se atrasan más y otras menos. A veces, por algunas vueltas mantienen su posición relativa con respecto al pelotón, e incluso, ganan posiciones para luego volver a perderlas. En ese avance y retroceso de posiciones, van cambiando de carriles, en algunas ocasiones se los observa cruzando la meta más arriba, en los carriles externos, y otras más abajo, en los internos.

Bien podría continuarse con la enumeración de fenómenos, hay muchos que no se han mencionado, apenas hablamos de los eclipses y todo ha sido presentado sin entrar en demasiados pormenores. Pero los fenómenos presentados hasta aquí, que atañen a los movimientos diarios, mensuales y anuales de estrellas fijas, el Sol, la Luna y los planetas constituyen el **núcleo central de los enigmas que la astronomía antigua y moderna intentaron resolver**. En la sección siguiente presentaremos, de modo esquemático, **los dos modelos explicativos rivales que protagonizaron la revolución copernicana: el modelo geocéntrico y el heliocéntrico**.

1.3. Dos máximos modelos del mundo

En el apartado anterior se han esbozado los principales fenómenos cíclicos que pueden observarse y vivenciarse desde la Tierra. Ellos constituyen los fenómenos astronómicos básicos, aquellos que la Astronomía tiene interés en explicar. Históricamente, desde el punto de vista astronómico ha habido dos propuestas de explicación o modelos: el modelo **geocéntrico y el heliocéntrico**. De acuerdo con el **primer modelo**, como desarrollaremos luego, **la Tierra se encuentra quieta en el centro de nuestro sistema plane-**

tario, siendo el punto de referencia fijo de los movimientos de los demás cuerpos. De acuerdo con el segundo, es el Sol el que cumple esa función. Ambas posiciones pretenden dar cuenta de los fenómenos y responder a los intereses prácticos de la astronomía (elaboración de calendarios). Ambas posiciones, que luego desarrollaremos como anticopernicana y copernicana, tienen no obstante, implicancias físicas y cosmológicas distintas. En el presente apartado, nos concentraremos en la forma en que pueden explicarse algunos de los fenómenos que acabamos de presentar mediante la elaboración de modelos. En particular, en la explicación que los modelos geocéntrico y heliocéntrico pueden ofrecer del movimiento diario de las estrellas, del día y la noche y las estaciones del año. El objetivo principal entonces es lograr comprender la labor de elaboración de modelos de los astrónomos. La pregunta central será pues: ¿qué movimientos y eventos deberían ocurrir para que se observe lo que se observa? Interrogante asociado a la pregunta cosmológica: ¿qué forma tiene el universo? Cuyas respuestas deben ser compatibles, como veremos luego, no solo con los fenómenos celestes observables desde la Tierra, sino también con los principios físicos que rigen el movimiento y la naturaleza material de las cosas sobre la Tierra.

Tanto los modelos geocentristas como heliocentristas coinciden en modelar las estrellas fijas como si estuviesen situadas en la superficie de una enorme esfera dentro de la cual se encuentran el Sol, la Tierra y los planetas (ver Figura 6). También, acuerdan en que las luces que brillan en el cielo son efectivamente cuerpos materiales y de forma aproximadamente esférica, al igual que la Tierra. Aquí comienzan las diferencias.

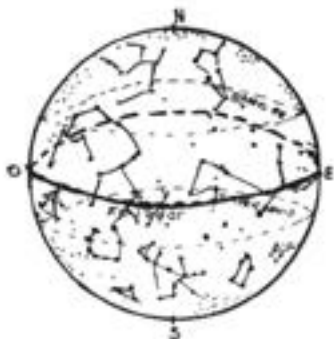


Figura 6. Esfera imaginaria de las estrellas fijas

Comencemos por los **movimientos diarios**. Según el modelo geocentrista y geostático (de acuerdo con el cual, como ya dijimos, la Tierra se encuentra en el centro del universo y quieta), el **movimiento diario de las estrellas en dirección antihoraria se explica por el giro de la esfera de las estrellas fijas**, cuyo eje, que tiene en el polo Norte celeste a la estrella polar, coincide con el eje terrestre). De acuerdo con este mismo modelo, **el Sol también da una vuelta en sentido antihorario alrededor de la Tierra, solo que algo más lento que las estrellas fijas** (4 minutos más lento), (ver Figura 7). Se explican así, tanto el **movimiento diario de las estrellas**, como el día y la noche y el retraso del Sol.

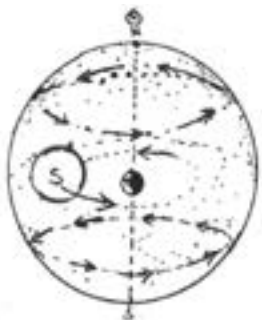


Figura 7. Movimientos diarios de las estrellas fijas (23 horas 56 minutos) y del Sol (24 horas) con la Tierra en el centro

Según el modelo **heliocentrista y heliostático** (de acuerdo con el cual, como ya dijimos, el Sol se encuentra en el centro y quieto), el movimiento diario de las **estrellas en dirección antihoraria se explica por el giro de la Tierra sobre su propio eje en dirección horaria**. Así, el movimiento de

las estrellas sería solo **aparente**. Del mismo modo, sería **aparente el movimiento diario del Sol**, también quieto y efecto de la rotación terrestre. Siendo así, cabe preguntarse: ¿por qué el Sol cambia su posición relativa con respecto a las estrellas? La respuesta a este interrogante involucra considerar ya no únicamente, el movimiento diario, sino también el anual.

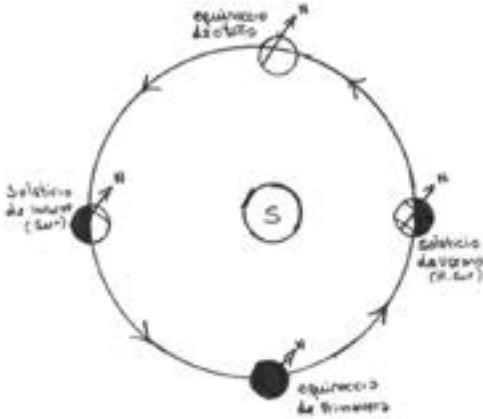


Figura 8. Movimiento anual de la Tierra alrededor del Sol

Si se observa la Figura 8, se verá la clave explicativa del heliocentrismo a la pregunta que acabamos de formular y, además, el principio de la explicación de los fenómenos del Sol de medianoche y las estaciones del año. De acuerdo con este modelo, **la Tierra se traslada anualmente alrededor del Sol**. Según el modelo, **el cambio de posición relativa del Sol sobre el fondo de estrellas fijas** se debe a la traslación terrestre (ver Figura 9).

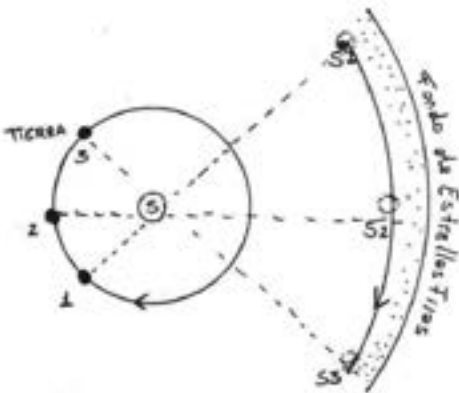
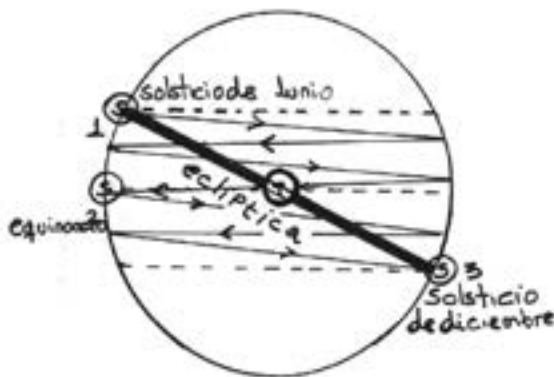


Figura 9. Movimiento aparente del Sol sobre el fondo de las estrellas fijas

Se observará, además, que el eje de rotación diaria de la Tierra y el plano de la órbita de traslación anual no coinciden, más precisamente, que el eje de rotación terrestre se encuentra inclinado $23,5^\circ$ con respecto a la órbita terrestre. Se explica así el movimiento aparente en dirección norte-sur del Sol con respecto al fondo de estrellas fijas, por el cambio de posiciones relativo a los polos terrestres. En el solsticio de enero, el polo Sur gira de cara al Sol, en tanto que en el de junio el polo Norte lo hace. En los equinoccios, en cambio, la dirección de la rotación terrestre no hace diferencia con respecto a la posición del Sol (Figura 3). El Sol de media noche, así como los días en que no sale el Sol, en las cercanías de los polos Norte (al norte del círculo polar ártico, $66,5^\circ$ latitud norte) y Sur (al sur del círculo polar ártico, $66,5^\circ$ latitud sur) terrestres son así explicados de una forma bastante evidente.

La explicación de las estaciones del año por parte del modelo geocéntrico es sumamente interesante. El movimiento anual del Sol alrededor de la Tierra describiría un espiral descendente desde el solsticio de junio al de enero y ascendente de enero a junio (Figura 10). De este movimiento en espiral, pueden abstraerse dos movimientos, el movimiento circular diario y el movimiento anual desde los $23,5^\circ$ al norte del ecuador celeste hasta los $23,5^\circ$ al sur del mismo y de regreso en sentido horario a través del fondo de estrellas fijas.

Figura 10. Movimiento anual del Sol de acuerdo con el modelo geocéntrico. Noten la eclíptica y consideren que se trata de un modelo simplificado, ya que en un modelo preciso la espiral debería contener más de 180 vueltas descendentes y otras tantas ascendentes.



Ambos modelos permiten explicar, de acuerdo con lo visto, los mismos fenómenos. Cada uno de ellos, no obstante deja abiertos ciertos interrogantes. Los enigmas del modelo heliocéntrico son esencialmente dos: el problema de la paralaje (¿si la Tierra se traslada, cómo es que durante todo el año el eje de rotación sigue apuntando a la estrella polar?), y el de la Tierra móvil (¿si la Tierra gira sobre su propio eje demorando 23 horas 56 minutos al día en sentido horario, cómo es que un pájaro puede volar tanto en ese sentido como en el contrario?). Los enigmas que presenta el modelo geocéntrico se manifiestan especialmente al considerar el movimiento de los astros errantes, los planetas ¿por qué se mueven de forma tan irregular? Tal fue la mayor dificultad que debió enfrentar la astronomía antigua. A continuación, comenzaremos el recorrido histórico y la evolución de las ideas que hasta aquí hemos presentado esquemáticamente.

1.4. La ciencia aristotélica, cosmología y física

En la física de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), como en la de Newton, ninguna comprensión cosmológica es posible sin considerar por partes iguales a la teoría de los cielos o astronomía y a los principios de la física terrestre. En el caso de la de Aristóteles, por su oposición, y en la de Newton, por su coincidencia, como veremos luego, una visión de conjunto es iluminadora.

El universo aristotélico, basado en la cosmología de Eudoxo (c.390 a.C.- c.337 a.C.), consistía en una esfera cuyos límites exteriores coincidían con los del espacio. Tanto las estrellas como el Sol, la Luna y los planetas estaban engarzados, fijos, en esferas transparentes y concéntricas, superpuestas unas sobre otras. Fuera de la esfera más exterior no había materia ni, en consecuencia, nada, ni siquiera espacio vacío. La idea misma de la posibilidad de espacio sin materia resultaba como una abstracción absurda y solo sería reivindicada en la modernidad. El

universo estaba cualitativamente dividido en dos. Por un lado, el mundo sublunar (todo aquello inscripto dentro de la esfera lunar, es decir, entre la Luna y el centro de la Tierra) y, por otro, el supralunar (la esfera lunar y todo lo exterior a ella hasta los confines del universo). En el centro de este universo se hallaba la Tierra (ver Figura 11).

El éter, un sólido cristalino, llenaba el espacio comprendido entre la esfera de las estrellas fijas y la de la Luna, siendo el elemento material más abundante. De éter estaban constituidos los planetas, recordemos que la Tierra no era considerada un planeta en este contexto, las estrellas fijas y las distintas esferas que rotaban articulando sus movimientos. El movimiento de la esfera de las estrellas fijas arrastraba a la esfera inmediatamente inferior y aquella a la siguiente hasta que el movimiento era transmitido a la esfera más pequeña e interna, la cual producía el movimiento lunar. Esta última esfera constituía el límite interno de los cielos (Kuhn, 1978, 118).

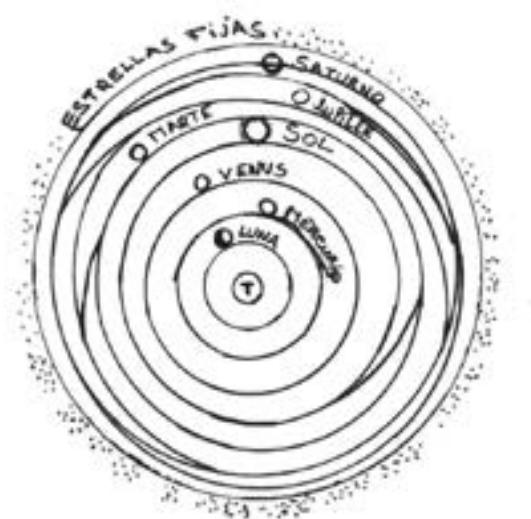


Figura 11. El universo aristotélico en dos dimensiones, plano cenital

La materia del mundo sublunar está compuesta por cuatro elementos o cuerpos simples: Tierra, Agua, Aire y Fuego (Aristóteles, 1952 A, II 1). Su distribución, de no mediar la intervención de otros factores hubiera sido similar a la de los cielos y formando cuatro esferas. La inferior y central de ellas constituida de tierra, a su alrededor se ubicaría el agua, luego el aire y, por encima de ellos y debajo de la esfera lunar, el fuego. En este estado de equilibrio, los elementos permanecerían en reposo indefinidamente en sus lugares naturales. No obstante, el mundo sublunar no se encontraba en ese estado y la influencia de los astros, el desorden, la generación y corrupción de distintas sustancias individuales (animales, árboles, objetos) producían la diversidad que se manifiesta a nuestro alrededor.

Las leyes que rigen los movimientos de los objetos del mundo sublunar parten de las mencionadas características o tendencia al equilibrio de los cuatro cuerpos simples. La tierra y el agua tienden hacia su “lugar natural” en el centro del universo¹. El aire y el fuego buscan el suyo al alejarse del centro del universo. Los cuerpos terrestres están compuestos, por lo general, por los cuatro cuerpos simples en distintas proporciones y su movimiento natural depende del elemento que se encuentra en ellos en mayor proporción (Aristóteles, 1952 C, II 8). Una de las consecuencias de estas tendencias naturales es la coincidencia del centro de la Tierra con la del centro del universo, de la cual se deriva accidentalmente que los cuerpos graves, al buscar su lugar natural en el centro del universo tienden hacia el de la Tierra (Aristóteles, 1952 B, II 14). Los movimientos naturales en el mundo sublunar, en consecuencia, son rectilíneos (ya sea alejándose o acercándose al centro del universo). Los movimientos naturales en el mundo supralunar son en cambio circulares a velocidad uniforme (idealmente manteniéndose a distancia constante del centro del universo).

¹ En *El nacimiento de una nueva Física*, capítulo II, Bernard Cohen (1989) elabora una interesante reconstrucción de las leyes aristotélicas del movimiento, según la cual la velocidad de los movimientos naturales de los cuerpos sería proporcional a su “pesantez” e inversamente proporcional a la resistencia ejercida por su medio circundante.

Además de los movimientos naturales de los cuerpos simples hacia el centro del universo o en la dirección contraria, existen movimientos violentos o forzados. Estos son producto de la intervención de una fuerza exterior sobre algún cuerpo físico alejándolo de su lugar natural. Supone así la aplicación de una fuerza determinada que vence la resistencia natural del cuerpo a permanecer en su sitio y, también, el equilibrio en el cual se encontraba. Una vez concluida la intervención de dicha fuerza, el cuerpo vuelve o tiende a volver a su lugar natural restableciéndose el equilibrio perdido una vez que este alcanza su meta (Koyré, 1966, 9-10).

Las leyes físicas y tendencias mediante las cuales se explican la caída, la flotación o el ascenso de los cuerpos simples, parecen expresar regularidades que se cumplen siempre. No obstante, dada la composición compleja de los demás cuerpos y la naturaleza aun más compleja de las muchas sustancias, estas generalidades acaban siendo ciertas, solo en general, la mayor parte de las veces.

La esfera de la Luna divide al universo en dos regiones de naturaleza completamente distinta: la terrestre, sitio de la generación y la corrupción, y la celeste, eterna e inmutable. Las propiedades de la materia que conformaba los cielos, eran completamente adecuadas a dichas características. El éter no sufre crecimiento ni disminución, es atemporal, impenetrable e inalterable. Y lo mismo ocurre con los cuerpos que conforma; la Luna, el Sol, los planetas, las estrellas y las esferas que los contienen.

El movimiento natural de los objetos del ámbito supralunar es circular, alrededor del centro del universo. Este movimiento es eterno, recurrente, previsible. Nuestras predicciones acerca de él son por siempre verdaderas o falsas. Todo lo que hay que explicar sobre ellos cae dentro de regularidades que no admiten excepciones. Allí se aplica el principio de plenitud, todo lo que es posible de los cuerpos celestes, en general, es o

será el caso en cada uno de ellos (Aristóteles, 1990, IX, 8). Nada azaroso ocurre en los cielos; la única descripción de su naturaleza es completa y no da lugar a entrecruzamientos de factores pertenecientes a esferas distintas. El movimiento celeste es tan irrevocable como el pasado. Nada podemos hacer para impedir la ocurrencia de uno o del otro. En otras palabras, la física celeste es “determinista”.

Hemos señalado antes que los movimientos y cambios de la región sublunar son producidos por los movimientos en el ámbito celeste. Al haber sostenido la necesidad y regularidad de estos últimos, podría preguntarse por su relación con los primeros. ¿Cómo puede convivir lo necesario con lo contingente (lo que podría ser de otro modo)? ¿Cómo pueden interactuar dos mundos sin que azar alguno se transmita hacia los cielos o el orden se imponga en la Tierra? Sabemos, por ejemplo, que cuando el Sol se encuentra en cierta posición, las temperaturas son más cálidas y los días más largos. Pero no todos los ejemplos concebibles son de este estilo. La relación entre ambos mundos, entre ambas naturalezas o entre ambas físicas, puede ser problemática. En cualquier caso, estas ideas daban un marco cosmológico y físico a la astronomía ptolemaica que presentaremos a continuación. Asimismo, y fundamentalmente, el carácter necesario de los fenómenos celestes y el contingente de los fenómenos sublunares, dentro de los cuales se inscribe toda la actividad humana, justificaba desde el punto de vista epistemológico la división del universo en dos. Los objetos de estudio del universo sublunar y supralunar eran en esencia distintos y, por ello, correspondía que se los estudiara por separado. Este marco es el que comenzaría a destruirse a partir del trabajo de Copérnico.

1.5. La astronomía antigua

En los apartados 1.2 y 1.3 se han descripto los fenómenos celestes visibles a simple vista y presentado dos modelizaciones alternativas. En el apartado 1.4 desarrollamos esquemáticamente la cosmología y física aristotélicas. Nos dedicaremos de aquí en más a las explicaciones ofrecidas por la astronomía antigua de los movimientos celestes en el denominado “universo de las dos esferas”, el cosmos aristotélico.

Que la Tierra era esférica, como ya hemos dicho, jamás estuvo en disputa dentro del ámbito científico. Esta idea era apoyada por numerosas observaciones: cuando un barco se aleja de un puerto, lo último que desaparece es su mástil; cuando nos alejamos de una montaña lo último que desaparece de nuestra vista es su pico, etc. La esfera celeste, a la que hemos hecho referencia en la sección 1.4, rodeaba la terrestre teniendo en su superficie a las estrellas que vemos durante la noche.

Los principios fundamentales de la astronomía antigua eran dos: la circularidad de los movimientos y la constancia de su velocidad. Dicho de otro modo, las trayectorias atribuidas a los cuerpos celestes debían tener forma circular —o poder conformarse a partir de la combinación de círculos, como veremos más adelante— y las velocidades de los cuerpos siguiendo en esas trayectorias debían ser siempre las mismas —los cuerpos no podían acelerarse ni desacelerarse. Estos principios se encontraban en perfecta armonía con la concepción aristotélica del cosmos y sustentando asimismo el modelo explicativo geocéntrico y geostático. Por otra parte, estos principios ofrecían la explicación más sencilla para el movimiento diario de las estrellas fijas, que constituyen la abrumadora mayoría de las luces que se observan en los cielos. Las estrellas fijas se mueven a velocidad angular constante, en órbitas circulares cuyo tamaño depende de su ubicación con respecto al polo Norte y al Sur celestes.

Si bien, como hemos dicho, el movimiento anual del Sol describía una doble espiral, este podía ser explicado analizándolo como resultado de la composición de dos movimientos circulares de velocidad constante (un círculo diario y uno anual, la eclíptica). La explicación de los movimientos de los planetas sería análoga: se comprenderían mediante la combinación de movimientos circulares.

La explicación de las retrogradaciones suponía un grave problema: los planetas parecen detenerse y retroceder, y eso parecía ser una clara violación de los dos principios que acabamos de mencionar. Por otra parte, ¿qué podría cambiar su estado de movimiento si se suponía que nada hay en los cielos fuera de estrellas fijas y planetas? Es decir: ¿por qué acelerarían o disminuirían su velocidad cuando nada se interponía en su camino?

En el siglo II antes de nuestra era, los astrónomos Apolonio (c.262 a.C.- c.190 a.C.) e Hiparco (c.190 a.C.- c.120 a.C.) elaboraron el modelo de *epiciclos y deferentes*. Este modelo era una variación, significativa, de la explicación dada al movimiento del Sol, pero en esencia consistente con ella: ambos suponían la explicación de un movimiento aparentemente anómalo en un movimiento regular a partir de la combinación de movimientos circulares. Los planetas se hallaban montados en un círculo cuyo eje estaba fijado a la esfera que describía su órbita original (Figura 12). El movimiento de los planetas, así, era un movimiento compuesto: el planeta se movía en un círculo superficial llamado “epiciclo” (que justamente quiere decir, en griego, “círculo-apoyado-encima”), y el epiciclo se desplazaba a lo largo de la circunferencia llamada “deferente”. El centro del epiciclo estaba siempre sobre el deferente y este tenía su centro en el de la Tierra. Al variar los tamaños de los epiciclos, se podían reproducir retrogradaciones de distintas magnitudes; cuanto más grande el epiciclo, mayor la retrogradación.

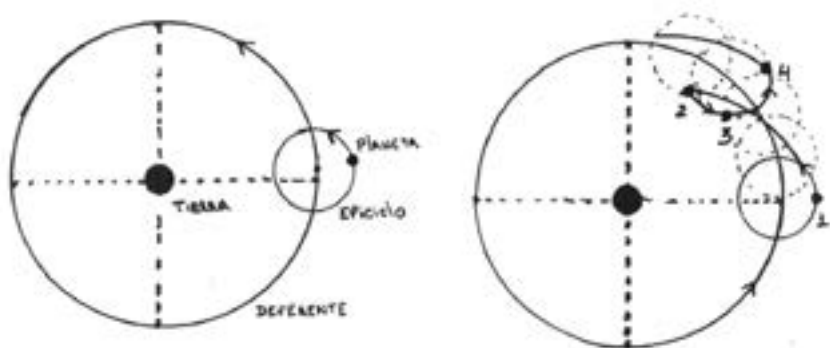


Figura 12. El sistema de epiciclos

De este modo, se ofrecía una explicación cualitativa, general, de las retrogradaciones. Pero para dar una explicación detallada de los fenómenos observados **era necesario introducir mayores precisiones**: no era idéntica la retrogradación de Marte que la de Venus, por ejemplo. Lo más importante, sin embargo, fue que **a partir de esta teorización pudo aumentarse enormemente la exactitud de las observaciones**, comparando los datos reales con las predicciones ofrecidas por el sistema teórico. De este modo, el modelo explicativo, además de recoger la evidencia de observaciones previas establecía predicciones de observaciones nuevas, predicciones cuya determinación requería nuevas y más precisas observaciones. Fueron Ptolomeo (100-178) y sus sucesores quienes se encargaron de esa tarea.

Sin embargo, **el progreso trajo consigo nuevos desafíos**; para dar cuenta de los datos obtenidos a partir de las observaciones más precisas posibilitadas por la teoría y ajustar a ellos las predicciones, **fueron necesarios nuevos epiciclos**. Se incorporaron entonces los llamados “epiciclos menores”, que servían para eliminar pequeños desacuerdos entre teoría y observación. Estos epiciclos menores, **círculos montados sobre los epiciclos previos**, se distinguían de los antes mencionados (conocidos

como epiciclos mayores) cuya función era la de explicar grandes irregularidades como las retrogradaciones, en que solo cumplían un rol de ajuste y corrección de errores. A este mismo fin se emplearon las llamadas "excéntricas", círculos en los que el centro de la órbita básica no coincidía con el centro de la Tierra, y los "ecuantés". No es importante aquí entrar en detalles acerca de estos últimos. Lo esencial es distinguir los epiciclos mayores de los epiciclos menores y otros recursos. Los primeros cumplían una función cualitativa (dar cuenta del porqué de las retrogradaciones); los últimos, cumplían una función de ajuste y precisión cuantitativa (respondiendo no ya a por qué, sino a los detalles del cómo). Veremos, luego, que la propuesta de Copérnico permitió eliminar los epiciclos mayores (también conoceremos por qué), pero que, además, necesitó de una serie de recursos adicionales (epiciclos menores y excéntricas) para dar cuenta con precisión de las observaciones. Veremos, asimismo, que a partir del trabajo de Kepler, podrá prescindirse de los epiciclos menores, obteniéndose así una descripción cualitativamente aceptable, cuantitativamente precisa y bastante sencilla, desde el punto de vista matemático- astronómico.

El mecanismo de Anticitera: tecnología en la Antigüedad

Por Christian C. Carman

A principios de 1900, un grupo de buzos griegos concluía su temporada de pesca en el norte de África y regresaba a su hogar. Sin embargo, en el camino de vuelta fue sorprendido por una fuerte tormenta mientras atravesaba el canal entre Citera y Creta y debió hacer costa en una pequeña isla llamada Anticitera. Una vez concluida la tormenta, comenzaron a bucear y hallaron un barco hundido lleno de tesoros. Se trató del primer naufragio arqueológico y, hasta ahora, el más importante. Los tesoros encontrados actualmente llenan varias salas del Museo Arqueológico Nacional de Atenas: bellísimas estatuas de bronce, joyas, armas, muebles, pero también rescataron fragmentos de lo que parecía ser un aparato de navegación, hoy conocido como el mecanismo de Anticitera. El naufragio ha sido datado cerca del 70 a.C., mientras que el mecanismo probablemente haya sido fabricado entre el 100 y el 150 a.C.

El mecanismo tenía aproximadamente el tamaño de un diccionario grande, estaba protegido por una caja de madera que tenía una puerta adelante y otra atrás. Tenía más de 30 engranajes de bronce y, al menos, 7 relojes señalando distintos eventos. El aparato se manejaba dando vueltas con la mano a una manija, que ponía en funcionamiento toda la cadena de engranajes. Girando en un sentido se podría avanzar en el tiempo y, girando en el otro, retroceder.

En el frente, había un gran reloj con dos escalas concéntricas. La interior estaba dividida en 12 zonas con 30 marcas cada una, en cada zona estaba escrito el nombre griego de un signo del zodiaco y servía para ubicar sobre el fondo de estrellas fijas la posición del Sol, la Luna y, probablemente, los planetas conocidos en la época. La exterior estaba dividida en 365 marcas que correspondían a los días del año. En el centro de estas escalas había al menos dos punteros, uno para el Sol y otro para la Luna que giraban cada uno a su propio ritmo. El del Sol daba una vuelta por año y, así, señalaba en la escala interna la posición del Sol en el zodiaco y, en la externa, el día del año.

El puntero de la Luna daba una vuelta por mes y mostraba la posición de la Luna en el zodiaco. Este puntero contaba con dos mecanismos realmente asombrosos por su ingenio y simplicidad: para señalar las fases de la Luna, poseía una pequeña esfera, mitad pintada de negro y mitad de blanco, que giraba a lo largo del mes (sinódico) mostrándose, por lo tanto, parcialmente blanca y parcialmente negra o totalmente de uno u otro color, representando las fases de la Luna. El segundo lograba dar cuenta de las irregularidades en la velocidad de la Luna haciendo que el puntero de la Luna no se desplazara a una velocidad constante, sino que acelerara en los momentos que la Luna aceleraba y desacelerara cuando la Luna lo hacía. En general, la astronomía que está detrás, inspirando la construcción del aparato, es la de Hiparco, el astrónomo griego anterior a Ptolomeo más conocido.

En la cara posterior había dos grandes relojes ubicados verticalmente y algunos relojitos subsidiarios en su interior. El reloj de arriba consistía en un complicado calendario luni-solar, basado en el ciclo metónico que afirma que 19 años son exactamente 235 meses lunares. La escala constaba de 235 celdas (cada una representando un mes) ubicadas en cinco vueltas en forma de espiral. Como cada ciudad griega poseía su propio calendario, el nombre de los meses allí presentes nos permite concluir que el mecanismo fue hecho para ser utilizado en Corinto o en alguna de sus colonias. Incluso, podría provenir de Siracusa, donde vivió el gran Arquímedes, quien, según cuenta Cicerón en su República, construyó un aparato muy similar.*

El calendario luni-solar constaba de dos relojitos subsidiarios: uno giraba una vuelta cada 76 años e indicaba cuándo había que omitir un día extra al calendario metónico (una vez cada cuatro ciclos) para corregirlo. El segundo, uno de los más asombrosos, daba una vuelta cada cuatro años y estaba dividido en cuatro celdas: en ellas se indicaban qué juegos panhelénicos se jugarían ese año: las Olimpiadas, los juegos de Nemea, etc.

El de abajo estaba dividido en 223 celdas (también correspondiendo cada una a un mes sinódico) distribuidas en cuatro vueltas de un espiral. La mayoría de las celdas están vacías, pero en los meses en los que habría un eclipse, la celda indicaba que lo habría detallando si sería solar o lunar, a qué hora sucedería y si podría o no verse. Los eclipses se repiten cada 223 meses, por eso, ese puntero servía para predecir eclipses in aeternum. En realidad, de un ciclo a otro, la aparición de los eclipses se desplaza 8 horas. Ésa es la razón por la que el mecanismo poseía un relojito subsidiario con un puntero que giraba muy lentamente (una vuelta cada 54 años) indicando si había que sumar 8 ó 16 horas o ninguna al valor que aparecía en la celda.

Si bien es el único aparato de este tipo que conservamos (el siguiente instrumento astronómico con engranajes es 1400 años posterior y muchísimo más simple), para muestra basta un botón: el desarrollo tecnológico en la Antigüedad había llegado mucho más lejos de lo que habitualmente pensamos.

* Para más información: Carman, Christian (2011), El mecanismo de Anticitera. Una computadora astronómica analógica de la antigüedad, en *Ciencia Hoy*, 21 (nº123, pp. 29-34). Disponible en: <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy123/Anticitera.pdf>

1.6. El pensamiento de Copérnico

Ya en tiempos de Ptolomeo, la astronomía se había constituido como una disciplina autónoma con respecto a la física y a la cosmología. Pero estas últimas constituían un marco necesario para ella, ya que pese a su independencia metodológica y disciplinar, eran conceptualmente dependientes: los movimientos de los astros debían ser física y cosmológicamente posibles. En tiempos de Copérnico, doce siglos más tarde, las cosas eran semejantes. Así, tanto su gran obra, *Revolutionibus Orbium*

Caelestium, como la de Ptolomeo llamada *Almagesto*, comenzaban presentando el marco cosmológico y físico en el cual se inscribirían sus trabajos y cálculos astronómicos. Ambos libros, de este modo, se iniciaban argumentando acerca de la posición de la Tierra en el cosmos, su movilidad o inmovilidad y su relación con respecto a las estrellas. Empezaremos por allí.

Al igual que sus predecesores, Copérnico aceptaba que el universo era esférico y que esa era la forma de la Tierra y de los demás astros; que los movimientos de los cuerpos celestes eran circulares y su velocidad uniforme. De tal manera, los primeros cuatro capítulos de su libro, comparten plenamente las ideas de sus colegas de la antigüedad. En el capítulo quinto, sin embargo, comienza a argumentar a favor del movimiento de la Tierra, o sea, que la Tierra se mueve. Sus argumentos, que no son de ningún modo concluyentes, manifiestan dos características fundamentales. En primer lugar, para justificar dicho movimiento, Copérnico establece una analogía entre la Tierra y los demás cuerpos celestes: al tener la misma forma, podrían convenirles los mismos movimientos. Veremos, luego, que las observaciones de Galileo profundizan esta observación cosmológica y siguen la misma línea: la Tierra es solo un astro más. En segundo lugar, Copérnico adhiere a la idea aristotélica de los lugares naturales y procura conservar el marco físico aristotélico con una diferencia, nada sutil, pero razonable: cambiar el centro del universo por el centro de cada planeta (incluida la Tierra) como lugar al que tienden los graves (los cuerpos que caen). En el caso de una Tierra inmóvil, la tendencia natural de los cuatro elementos a buscar su posición con respecto al centro del universo, coincidía con la tendencia natural a buscar el centro de la Tierra. Al afirmar que la Tierra está en movimiento, Copérnico debió atribuir las tendencias naturales de los elementos a su centro, como marco de referencia y punto al que caían los graves.

La explicación de los movimientos celestes ofrecida por Copérnico con respecto a las estrellas fijas y al Sol, **consiste en asignar a la Tierra los movimientos que la astronomía antigua le había atribuido hasta ese entonces al resto del universo**. Así, las rotaciones diarias de la esfera de las estrellas fijas y el Sol (de este a oeste) se deben a una rotación de la Tierra sobre su propio eje en dirección contraria (de oeste a este) que demora 23 horas 56 minutos (acorde con la explicación del apartado 1.3).

A su vez, el **aparente retraso diario del Sol con respecto a las estrellas se debería a la traslación terrestre**: cada día que pasa, la Tierra se ha movido un poco hacia el oeste, lo cual genera la apariencia del avance paulatino del Sol hacia el este. Y lo mismo, en general, con el movimiento normal de los demás planetas. **Con respecto a la cuestión de las estaciones del año, los equinoccios y los solsticios, que eran explicados por el movimiento del Sol en la eclíptica y la inclinación de la eclíptica respecto del polo Norte celeste de aproximadamente 23° , ahora era explicado como consecuencia de una inclinación en el ecuador terrestre (el paralelo 0 en nuestros mapas) y desplazamiento de los polos Norte y Sur terrestres con respecto al plano de traslación terrestre (ver Figura 8).**

La principal virtud del sistema copernicano, sin embargo, consiste en la explicación cualitativa de las retrogradaciones de los planetas. De acuerdo con la visión copernicana, la Tierra es el tercer planeta a partir del Sol. Más cercanos al Sol se encuentran Mercurio y Venus, y más lejanos, Marte, Júpiter y Saturno. A cada uno de los seis planetas le corresponde un círculo cuyo centro está en el Sol. La Luna tiene un círculo aparte, cuyo centro coincide con el de la Tierra. De este modo, las retrogradaciones son meramente las apariencias generadas por el movimiento relativo de los distintos planetas alrededor del Sol (ver Figura 13).

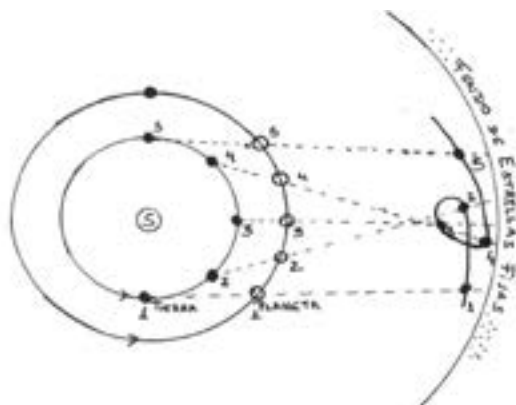


Figura 13. Explicación copernicana de las retrogradaciones

Estas ideas no solo permitían a Copérnico dar **cuenta de las retrogradaciones de un modo cualitativo**, también permitían **calcular los tamaños de las órbitas planetarias, a partir del tiempo que demoraban los planetas en recorrerlas dando una vuelta**, y el hecho de que los planetas interiores (ubicados entre el Sol y la Tierra) planteaban más retrogradaciones al año. También, por qué nunca aparecían en el Zodíaco alejados de la posición proyectada del Sol (fenómeno que no mencionamos antes, pero que tiene cierta relevancia). Venus y Mercurio nunca se oponían al Sol, es decir, nunca ocurría que la Tierra quedara en medio del Sol y Venus, ni entre el Sol y Mercurio (cosa que sí ocurría con los planetas externos).

El sistema de Copérnico, no obstante, distaba de ser perfecto, especialmente a la hora de dar una **explicación matemática precisa de los movimientos celestes**. Esta precisión es lo que requerían los astrónomos. Y tenían razón. **Copérnico logró eliminar los epiciclos mayores, pero necesitaba hacer uso de los epiciclos menores y de las excéntricas**. Con ello su sistema resultaba tan complejo como el ptolemaico y con una gran desventaja: **era poco intuitivo desde el punto de vista físico**. Si la Tierra gira sobre su eje cada día y, además, se mueve miles y miles de kilómetros alrededor del Sol, ¿cómo es que no salimos disparados por la fuerza cen-

trífuga que genera su giro?, ¿cómo es que los pájaros en el cielo, que no están aferrados a nada, no se quedan atrás (como quien salta de un tren en movimiento)? ¿Cómo es que si soltamos un objeto de una torre, cae al pie de esta, aunque la Tierra haya girado una importante distancia?

Por otra parte, existía un problema de naturaleza más astronómica que física, el *problema de la paralaje*. Si la Tierra se moviese, razonaban por entonces, las posiciones relativas de las estrellas fijas deberían cambiar. Del mismo modo que si caminamos por una habitación, las posiciones relativas de los objetos que nos rodean cambian (aunque las reales no lo hagan). Por ejemplo, si en enero fijo un tubo hueco de manera tal que a cierta hora a través suyo se vea una determinada estrella y suponiendo que la Tierra tuviera un movimiento de traslación anual alrededor del Sol, luego de un tiempo, la estrella debería dejar de verse a través del tubo. Para poder seguir observando esa estrella, sería necesario ajustar el ángulo con el cual se fijó el tubo, dependiendo la cantidad de ajuste necesario, de cuánto variase la posición relativa de la Tierra con respecto a la estrella (ver Figura 14).

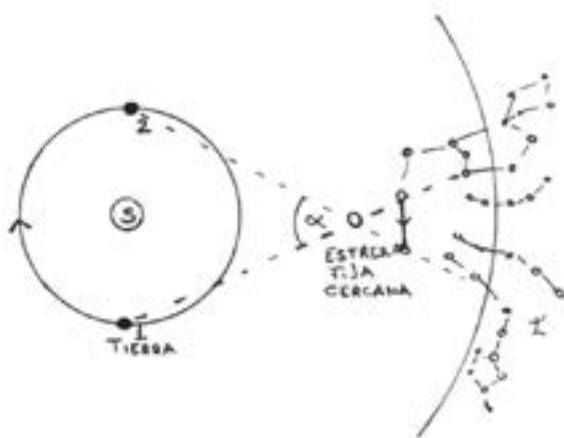


Figura 14. El problema de la paralaje. El ángulo alfa es el llamado ángulo de la paralaje, dependiente de la posición terrestre y de la distancia de las estrellas fijas a la Tierra.

Pero lo cierto es que cuando se realizaban tales experiencias, no se observaba que la estrella cambiase su posición (sí a lo largo del día, por supuesto, pero no a lo largo del paso de los meses). Es decir, continuando con el ejemplo del tubo, es posible seguir viendo la misma estrella a la misma hora en el mismo sitio sin necesidad de ajustes. Esto suponía un argumento contundente en contra del movimiento de la Tierra. Copérnico introdujo una propuesta extremadamente audaz para responder a este inconveniente.

Hemos dicho que el ángulo de la paralaje, el ángulo de ajuste que habría que imponerle al tubo para que siguiera apuntando al mismo objeto, dependía de la variación de la posición relativa de la Tierra respecto de la estrella en cuestión. Pero la magnitud de ese cambio de posición depende de cuán lejos estén las estrellas. Es decir, en función de qué tan grande sea la esfera de las estrellas fijas. El ángulo α en la Figura 14 varía mucho, porque la estrella se encuentra cercana de la Tierra. Si se encontrara mucho más lejos, la variación sería menor. Si se hallara extremadamente lejos, podría ocurrir que la variación fuese tan pequeña que resultara indetectable. Y eso fue lo que sostuvo Copérnico, que la esfera de las estrellas fijas estaba extremadamente lejos, de modo tal que el movimiento de la Tierra alrededor del Sol era despreciable. El universo, argumentó, era mucho más grande de lo que se había imaginado. Tanto, que la variación de posición de la Tierra con respecto a las estrellas fijas existía pero no era observable. Ptolomeo había considerado también esta posibilidad pero la había descartado por absurda.

La polémica planetaria

De acuerdo con los argumentos de Copérnico, la Tierra sería “un planeta más”, de la misma categoría que Marte o Venus. Posteriormente, como veremos luego, las observaciones telescópicas de Galileo darían un fuerte apoyo a esta hipótesis, mostrando nuevas similitudes

entre la Tierra y los otros astros errantes. Esto supuso un cambio en la noción de “planeta”, un cambio conceptual.

Para los antiguos, como ya hemos apuntado, el universo se dividía espacial y materialmente en dos ámbitos: el de los fenómenos terrestres y el de los celestes. Hasta aquí, hemos utilizado el término planeta para referirnos exclusivamente a Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Pero dentro del ámbito de los cielos, las luces que vemos, que se suponían cuerpos esféricos, solían ser clasificados en dos grandes conjuntos: por un lado, las estrellas fijas, cuerpos que no cambian sus posiciones relativas a lo largo del año; por otro, los “astros errantes” o “planetas”, todos los demás cuerpos que se observan en los cielos y varían sus posiciones noche a noche y día tras día. El concepto de planeta se refería entonces tanto a los cinco mencionados como a la Luna y el Sol. Luna, Sol, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno eran siete planetas que giraban alrededor de la Tierra, de una naturaleza diferente.

A partir de la propuesta de Copérnico, el concepto de planeta sufre un cambio radical. En primer lugar, el **Sol pasa a ocupar el lugar de cuerpo privilegiado**, centro de los movimientos, y deja de ser pensado como un errante. En segundo lugar, **la Tierra pasa a ser un planeta más** junto a Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. En tercer lugar, **la Luna también cambia su estatuto, dejando de ser un planeta y convirtiéndose en un satélite, un cuerpo que gira alrededor de un planeta** (idea que abría la posibilidad de que otros planetas tuvieran también sus lunas, lo cual posteriormente fue observado por Galileo). Los planetas ahora eran seis y aparecía la noción de satélite. La distinción espacial y material del mundo antiguo en dos ámbitos entraba así en una crisis profunda. Ptolemaicos y copernicanos, al referirse a planetas no solo estaban pensando en palabras que se aplican a conjuntos de cosas diferentes (no solo se trataba de cambiar el Sol por la Tierra), los conceptos antiguos y moderno de planeta eran solo el signo de un cambio profundo en la concepción del cosmos. Dos cosmovisiones contrapuestas. En algún sentido, unos y otros vivían en mundos distintos.

1.7. La astronomía de Brahe y de Kepler

El sistema copernicano permitía simplificar conceptualmente la explicación de las retrogradaciones de los planetas. Los llamados epiciclos mayores ya no eran necesarios, porque el movimiento anómalo de los

planetas era interpretado como consecuencia de que el observador en la Tierra también estaba en movimiento, como ya mencionamos. Sin embargo, desde el punto de vista astronómico, que requería precisión predictiva y no solo una explicación cualitativa, el sistema de copernicano resultaba tan inadecuado como el ptolemaico y no menos complicado. Esta inadecuación se hizo especialmente manifiesta como consecuencia de las nuevas y más precisas observaciones incorporadas como evidencia astronómica por los hermanos Tycho (1546-1601) y Sophie Brahe (1556-1643). Sería Johannes Kepler (1571-1630) quien daría una explicación astronómica que gozaba tanto de precisión como de sencillez. Para ello debería poner en cuestión las dos ideas fundamentales de la astronomía antigua: que todos los movimientos celestes se basan en recorridos circulares y que las velocidades de los astros son constantes. Tycho Brahe fue, junto con Copérnico, el mayor astrónomo del siglo XVI. Su aporte crucial a la Revolución copernicana fue la incorporación de un conjunto enorme de nueva evidencia, observaciones precisas de los fenómenos celestes y, particularmente, los movimientos de los planetas. La evidencia recogida por los Brahe sería fundamental para las discusiones posteriores, no tanto porque favoreciera al copernicanismo o a sus críticos, sino porque pondría en crisis a ambos sistemas. Hasta ese entonces, el conflicto entre copernicanos y ptolemaicos se encontraba en una especie de “empate técnico”: los copernicanos podían aducir que no necesitaban epiciclos mayores, pero se comprometían con el movimiento de la Tierra sin una justificación física consistente; los ptolemaicos, tenían la tradición de su lado y una cosmología sólida detrás, pero carecían de una representación de los movimientos planetarios cualitativamente sencilla; ambos, copernicanos y ptolemaicos, debían en cualquier caso utilizar un número enorme de artilugios matemáticos para dar cuenta de los fenómenos con alguna precisión. Las observaciones de Brahe mostraron definitivamente que ambas concepciones, tal como estaban planteadas, no se adecuaban a la evidencia. Tanto

copernicanos como ptolemaicos debían incorporar un gran número de correcciones a sus ya complejos sistemas para poder dar cuenta de las observaciones de Brahe.

Kepler, discípulo de Brahe y heredero de sus observaciones, dio un nuevo giro a la astronomía. El mismo resolvería el llamado problema de los planetas y lo definiría a favor de la posición copernicana. Las fuentes de su pensamiento fueron dos: por un lado, una creencia casi mística y fanática en las armonías matemáticas y las proporciones; por otro, un compromiso profundo con la evidencia disponible. Ambas fuentes combinadas, lo llevaron a buscar una explicación matemáticamente más sencilla y elegante que las utilizadas hasta ese entonces por ptolemaicos y copernicanos y al mismo tiempo adecuada a las precisas observaciones con las que contaba. Finalmente, estos compromisos lo llevarían a romper con las dos ideas rectoras de la astronomía antigua que Copérnico había conservado: movimientos circulares y velocidades uniformes.

En primer lugar, Kepler observó que los epiciclos menores utilizados para explicar la aparente diferencia de velocidad del movimiento aparente del Sol en algunas épocas y de los planetas en general, se podían evitar abandonando la idea de que los planetas recorren órbitas circulares. La llamada “Primera ley de Kepler”, enuncia su alternativa: los planetas se mueven en órbitas de forma elíptica (elipses) estando el Sol en uno de sus focos (ver Figura 15).

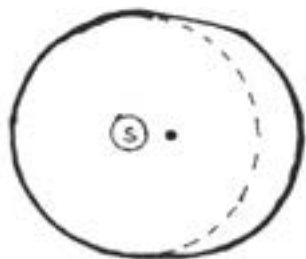


Figura 15. Órbitas elípticas y órbitas circulares. Primera ley de Kepler

¿Qué es una elipse?

Una elipse es a un círculo lo mismo que un paralelogramo (figura de cuatro lados con lados opuestos paralelos, como el rectángulo y el rombo) a un cuadrado. Es decir, una elipse es una categoría más general. Los círculos son elipses, del mismo modo que los cuadrados son paralelogramos. La diferencia en ambos casos es que tanto los círculos como los cuadrados son más simétricos. Las dos diagonales de un cuadrado se cruzan en su centro y dan lugar a cuatro triángulos iguales. Lo mismo pasa con dos líneas que se crucen en el centro de un círculo, lo dividen en cuatro porciones iguales (piensen en una pizza). Ahora bien, si se hace esto con un rectángulo, o con una elipse que no es un círculo, dos líneas que se cruzan en el centro darán lugar a dos triángulos más grandes y dos más pequeños. Un círculo es una elipse con un solo foco, un solo centro.



Figura 16. Ilustración de la Segunda ley de Kepler, la ley de áreas

La "Segunda ley de Kepler" pone en cuestión la velocidad constante de los planetas. En su lugar, propone una regularidad distinta: los planetas no van a velocidad constante sino que barren áreas iguales de la elipse en tiempos iguales (ver Figura 16). Esta ley es también conocida como "Ley de áreas". Imaginen que trazan una línea que une al planeta con el foco de la elipse en el que se encuentra el Sol. Al comparar las posiciones correspondientes a dos momentos distintos, habrá quedado recortada un área de la elipse. Es posible, desde luego, realizar varias observaciones en distintos momentos, obteniendo por resultado distintas áreas recortadas. Kepler afirma que si esas áreas tienen la misma magnitud, el tiempo empleado por el planeta para recorrer la parte de la elipse que las cubre debe ser el mismo. Si aplicamos esta ley a un cuerpo que recorre una trayectoria circular, la ley de áreas

implica que el cuerpo va a una velocidad constante. Aplicada a otras elipses, la idea implica, que cuando los planetas están más cerca del Sol, su velocidad es mucho más rápida y que cuando están lejos, su velocidad es menor.

Estas dos leyes fueron las principales innovaciones respecto de la astronomía antigua. Ambas son aceptadas en la actualidad, pero hoy no son consideradas leyes relativas solo al movimiento de los planetas conocidos por Kepler alrededor del Sol, sino como leyes universales. Es decir, con las ideas principales de Kepler, podríamos explicar, tanto la situación de nuestro sistema solar, en el que las órbitas de los planetas son elipses no circulares y cuyos planetas, en consecuencia, tienen una velocidad que no es constante, como la relativa a otros sistemas planetarios posibles. Con estas dos leyes, Kepler pudo predecir y sintetizar los movimientos celestes, planetarios, estelares y solares, prescindiendo incluso de los epiciclos menores y dando al copernicanismo la carta del triunfo como teoría astronómica.

Finalmente, Kepler formuló una tercera ley, que vinculaba los períodos de los planetas (cuánto tardan en dar una vuelta alrededor del Sol) con sus distancias al Sol. Afirmó que había una razón constante entre esos períodos y sus distancias al Sol. Los planetas más lejanos se mueven más lento, en tanto que los más cercanos lo hacen más velozmente. El significado de esta ley, de acuerdo con Kepler, era que revelaba una armonía profunda acerca, ya no de los planetas con relación al Sol, sino del sistema solar como un todo, expresando una proporción en la forma general del sistema solar y la ubicación de sus órbitas.

1.8. El aporte galileano

Galileo Galilei (1564-1642) fue el otro gran copernicano del siglo XVII. Su obra otorgó plausibilidad física y cosmológica a las ideas de una tie-

rra móvil. Desde el punto de vista cosmológico, sus principales aportes a las ideas copernicanas provinieron de las observaciones realizadas a partir de 1609 con el telescopio, tecnología que, aunque era conocida, no había sido empleada antes con fines astronómicos. Galileo combinó nuevas observaciones sobre los fenómenos celestes con un espíritu y habilidad de propaganda enormes. No solo realizó observaciones como científico profesional o astrónomo, sino que las divulgó a la opinión pública. Las principales conclusiones que extrajo de sus observaciones fueron que la Tierra no es más que un astro como tantos en el universo, semejante a los demás planetas y que incluso en los cielos nada es eterno, ni perfecto (como se sostenía en la cosmología de Aristóteles).

1.8.1. Galileo y el telescopio

Galileo contempló con gran detalle el paisaje de la superficie de la Luna, notó allí montañas y valles muy semejantes a los de la Tierra e incluso, viendo cómo variaban las sombras de las montañas lunares, calculó su altura (el mismo método era utilizado para determinar tales alturas en las montañas terrestres). Esto iba en contra de la idea aristotélica de que la Luna era una esfera perfecta de éter, y de que había una diferencia cualitativa entre la Tierra y las entidades del mundo supralunar.

En segundo lugar, además de observar numerosas estrellas que sin el telescopio no eran visibles, constató que su tamaño aparente no variaba por utilizar este instrumento y argumentó a favor de su casi infinita lejanía. Sin embargo, sus principales descubrimientos astronómicos no fueron esos sino los siguientes tres. Galileo observó, en tercer lugar, que Júpiter tiene lunas, al igual que la Tierra, e incluso que tiene más, cuatro, lo cual mostraba fuera de casi toda duda que había movimientos cíclicos, cuyo centro no era el centro de la Tierra, ni del universo, ni tampoco del Sol. Por otra parte, la estabilidad del movimiento de esas

lunas alrededor de un planeta que se suponía en movimiento, constituía una fuerte razón para aceptar la estabilidad física de una Tierra móvil: si las lunas de Júpiter podían acompañar su movimiento y no quedaban atrás, lo mismo valdría para nosotros en la Tierra y los pájaros en el aire.

En cuarto lugar, observó que Venus mostraba fases como la Luna y que, al igual que la Tierra, también reflejaba la luz del Sol de forma variable según su posición respecto de aquel. Esto no podría explicarse desde la propuesta ptolemaica en la que los planetas internos nunca se encontraban detrás del Sol. Finalmente, observó los anillos de Saturno, lo que también contribuía a descartar la idea de que todos los astros son esferas o tienen una forma esférica (idea que incluso Copérnico aceptaba).

1.8.2. Galileo y la relatividad del movimiento

Hasta aquí nos hemos concentrado en los desarrollos astronómicos y cosmológicos vinculados a la denominada Revolución copernicana. Estos pudieron ser suficientes para quebrar por completo el esquema aristotélico ptolemaico y abandonar la idea de que la Tierra es un astro privilegiado que se encuentra en reposo en el centro del universo. La simplicidad de las explicaciones astronómicas de Kepler que suponían una trayectoria bastante simple para los cuerpos celestes, la Tierra y los otros planetas eran un argumento demasiado elocuente como para ser ignorado. El sistema de Kepler, a diferencia del propuesto por Copérnico, era indiscutiblemente superior a cualquier otro sistema astronómico nunca antes conocido. Por otra parte, la virtud propagandística y la argumentación convincente de Galileo puso al alcance de la burguesía y la sociedad educada (que sabía leer y escribir), la idea de que la Tierra era un astro no muy distinto a los demás (idea que no era nueva, ya Leonardo da Vinci y otros pensadores la habían sostenido). Un capítulo más, sin embargo, nos queda por recorrer: el camino que va desde la idea de

“lugar natural” de Aristóteles (apartado 1.4. La ciencia aristotélica, cosmología y física) hasta la idea de una física inercial.

Supongamos que estuviéramos en un tren muy largo que va en línea recta a una velocidad constante en una zona llana (por ejemplo, 60 km/h) y tuviéramos un arco y dos flechas. Disparamos una en dirección a la locomotora y la otra en la dirección contraria. ¿Qué observaremos? Aristóteles diría: observaremos que las flechas caen. Él no daría más precisiones ni las necesitaría. Su explicación causal es satisfactoria: ¿por qué han caído? Porque son graves, su constitución es más densa que la del aire que las circunda y buscan su lugar natural en el centro de la Tierra. Ahora bien, si quisiéramos calcular las distancias a las que caen, Aristóteles no tendría mucho que decir, no era el tipo de problemas a que originalmente se enfrentaba. Él pretendía responder a la pregunta: ¿por qué la flecha cae? y no a: ¿cómo es que cae o se mueve la flecha?; mucho menos a: ¿cómo podemos describir matemáticamente la trayectoria de la flecha?

Los físicos posteriores a Aristóteles y anteriores a Galileo, más interesados en este tipo de problemas, hubieran respondido probablemente del siguiente modo: si el tren va a 60 km/h y la flecha en la misma dirección (por ejemplo, a 120 km/h) y cae luego de un minuto, esta ha recorrido una distancia de 2 km. En ese tiempo, el tren ha avanzado 1 km. Por lo tanto, para recoger la flecha solo tendremos que caminar 1 km dentro del tren, ya que mientras ella avanzaba 2 km, el tren nos acercó 1 km. La flecha tirada en la dirección contraria, dirían los físicos postaristotélicos y pregalileanos, se alejará en un minuto en el aire, 2 km de nosotros. En ese tiempo, el tren ha avanzado 1 km. Por lo tanto, para recoger la flecha tendríamos que caminar 3 km dentro del tren, ya que mientras ella avanzaba 2 km, el tren nos alejó 1 km más.

Imaginemos que la explicación recién presentada fuera correcta. Pensemos, ahora, que en lugar de viajar en un tren a 60 km/h, lo hacemos en nuestro planeta a 60.000 km/h. Si disparamos la flecha en la Tierra en la dirección del movimiento terrestre (hacia la locomotora), la flecha avanzaría los mismos 2 km. En ese tiempo, la Tierra habría avanzado 1000 km. Según el razonamiento anterior, la flecha tendría que caer 998 km detrás de nosotros. En caso de apuntar la flecha en la dirección contraria, por análogo razonamiento, la flecha caería a 1002 km detrás de nuestra posición.

Evidentemente, esto último no pasa. Cuando jugamos al fútbol, no reparamos en si estamos pateando la pelota en la dirección del movimiento terrestre o en la dirección contraria. Si disparamos una flecha con una fuerza determinada, sabemos que cae a la misma distancia, no importa en qué dirección apuntemos. Así, hay dos posibilidades: o la Tierra no se mueve, o algo en la explicación que acabamos de presentar está mal. Los físicos que se oponían al movimiento de la Tierra, confiados en esa clase de explicaciones, descartaban las ideas copernicanas con argumentos basados en la física. Galileo, quien adhería al copernicanismo, tuvo que encontrar una nueva explicación física para la caída de los cuerpos y la indiferencia que existe entre las distintas orientaciones de nuestros disparos (con flechas, balas de cañón o pelotas de fútbol). El modo en que formuló esta idea fue el principio de relatividad del movimiento, que sería uno de las bases de la “Ley de inercia”, enunciada posteriormente por Isaac Newton.

Galileo argumentó razonablemente lo siguiente: cuando estamos en un barco (podría haber dicho en un tren, pero no había trenes en ese entonces), actuamos del mismo modo que cuando estamos en nuestras casas. El hecho de que el barco se esté moviendo no hace que las cosas se nos caigan detrás. Nosotros, al igual que las cosas en el barco, compartimos el movimiento del barco, y no experimentamos su velocidad. Al estar

en un barco cerrado, en la cabina de un barco, no podríamos saber si se encuentra avanzando en alguna dirección o quieto con respecto a un puerto cercano. No hay ningún experimento que pudiéramos realizar dentro del barco que nos permitiera establecer si este se mueve o no. Y lo mismo ocurre con la Tierra. Como estamos sobre ella compartimos su movimiento, llamémosle movimiento inercial, y, por eso cuando saltamos, no caemos atrás, pese a que en el segundo en que estuvimos en el aire, la Tierra se ha movido varios kilómetros respecto del Sol. Viajamos en la Tierra como en un barco, sin notarlo.

Veamos ahora cómo explica Galileo el experimento de las flechas. Repasemos, el tren va a 60 km/h y la flecha en la misma dirección (120 km/h), cae luego de 1 minuto, la flecha ha recorrido una distancia de 2 km. En ese tiempo, el tren ha avanzado 1 km. Para recoger la flecha tenemos que caminar 2 km. ¿Por qué? Porque al ser disparada, la flecha ya compartía el movimiento del tren de 60 km/h. Esa cantidad de movimiento es un extra, así que la flecha ha avanzado 2 km por el disparo y 1 km por su movimiento inercial inicial compartido con el tren. La flecha disparada en la dirección contraria, se alejará, en su minuto en el aire, 2 km de nosotros. En ese tiempo, el tren ha avanzado 1 km. Sabemos que tendremos que caminar 2 km para recogerla. ¿Por qué? Porque al ser disparada, la flecha ya compartía el movimiento del tren de 60 km/h. Esa cantidad de movimiento contraria a la del disparo se resta, así que la flecha se ha alejado hacia el fondo del tren en 2 km por el disparo, pero por su movimiento inercial inicial compartido con el tren en ese tiempo, también ha avanzado un kilómetro en la dirección en que avanza el tren, compensando el movimiento que realizó el tren mientras ella estaba en el aire. Considerado desde alguien que ve el tren pasar desde una estación, la flecha disparada en dirección a la locomotora se ha movido tres kilómetros alejándose de la estación; la flecha disparada hacia atrás se ha movido un kilómetro acercándose a ella. Desde nuestro punto de vista, en el tren ambas flechas se han movido 2 km con respecto a nosotros.

La idea de una fuerza tal, que hace que compartamos el movimiento de la Tierra, era novedosa, y el principio de relatividad del movimiento junto a ella son, desde el punto de vista científico, los mayores aportes de Galileo a la física. Nuestro viaje en la Tierra es como cualquier otro viaje. Estamos en la Tierra como en un navío. Si estas ideas eran correctas, ya no había problema alguno en una Tierra móvil. La quietud y la movilidad de la Tierra eran indistinguibles desde el punto de vista físico. Esto, desde luego, no probaba que la Tierra se moviera, pero sí impedía descartar la idea por absurda. Y no se necesitaba más, ya que ahora abundaban evidencias tanto cosmológicas, a favor de la semejanza de la Tierra con otros astros, como astronómicas, vinculadas con que la mejor (más elegante y más precisa) descripción astronómica suponía que la Tierra giraba alrededor del Sol recorriendo una elipse.

1.9. Epílogo: Newton

Llegamos ahora al final de nuestra historia. Los trabajos de Kepler sobre los movimientos celestes permitieron a la astronomía de base copernicana prescindir ya, no solo de los epiciclos mayores, sino también de los menores (pudiendo explicar así incluso las precisas observaciones de Brahe). Los argumentos de Galileo y sus observaciones con el telescopio dieron plausibilidad a la idea cosmológica de que la Tierra es un astro semejante a los otros planetas. Finalmente, su análisis de la inercia y relatividad del movimiento, permitía dejar de lado los argumentos físicos en contra del movimiento de la Tierra. Serían Gottfried Leibniz (1646-1716), Robert Hooke (1635-1703) y, en última instancia, Isaac Newton (1642-1727) quienes darían la forma final al nuevo universo. Resumiremos a continuación sus principales rasgos.

El espacio y el tiempo (de los cuales no hemos hablado hasta aquí demasiado) son concebidos matemáticamente y sin propiedades físicas

perceptibles. Todos los puntos del espacio son iguales, no hay un centro del universo, ni confines, ni lugares naturales para las cosas. Solo se distinguen físicamente dos puntos del espacio por los cuerpos que los ocupan y dos momentos en el tiempo por la diferencia de las posiciones relativas de los cuerpos en ellos.

La idea galileana de la relatividad del movimiento y la inercia son enunciadas como uno de los principios más básicos de los cuerpos físicos: todo cuerpo conserva su estado de movimiento a menos que sea sometido a fuerzas externas. Esto es más fuerte y general que lo que hemos dicho antes sobre Galileo y el movimiento compartido, pero también fue enunciado parcialmente por él y tiene un antecedente en los principios de la astronomía antigua. Así, si un cuerpo estuviese moviéndose a 10 km/h respecto de un punto del espacio, seguiría el movimiento en la misma dirección indefinidamente. Esta idea desafía las ideas antiguas, e incluso las de Copérnico, ya que supone que un cuerpo puede estar en equilibrio y moviéndose al mismo tiempo (un cuerpo cualquiera incluso uno terrestre), cuando para Aristóteles el único punto de equilibrio era el de reposo (para los cuerpos del universo sublunar). Y supone también un espacio infinito, ya que si el universo tuviera una esfera exterior que lo contuviera, un cuerpo no podría continuar en su estado de movimiento indefinidamente; en algún momento chocaría con los límites del universo.

Newton propuso, además de la “Ley de inercia”, otras dos: la llamada “Ley de acción y reacción” y la “Ley de la fuerza”. La primera sostiene que siempre que un cuerpo A ejerce una fuerza en una dirección sobre un cuerpo B, una fuerza de igual magnitud y sentido opuesto es ejercida por el cuerpo B sobre el cuerpo A. Un ejemplo de esto puede experimentarse disparando un fusil. Una fuerza es ejercida por la bala al dejar el fusil, lo que hace que sintamos la “patada”, un golpe sobre nuestro hombro. Lo mismo ocurre cuando saltamos: ejercemos una fuerza contra el piso,

pero en ese instante, el piso ejerce una fuerza igual y en sentido opuesto. Al combinar esto con el principio de relatividad del movimiento, podemos pensar que lo único objetivo es el módulo de la fuerza existente entre nosotros y el piso. La segunda, o ley de la fuerza, establece que las fuerzas ejercen un cambio en la velocidad de los cuerpos, una aceleración que depende en parte de la masa del cuerpo. Esto significa que, si conocemos la masa de un cuerpo y la aceleración que experimenta, podemos calcular la fuerza a la que está sometido; si sabemos la fuerza a la que está sometido, y su masa, podemos calcular la aceleración que dicha fuerza producirá en él; si conocemos qué aceleraciones producen distintas fuerzas sobre él, podemos calcular su masa. Al combinar la ley de acción y reacción con la ley de la fuerza, podemos determinar cómo dos cuerpos de masas muy diferentes interactúan (intercambian fuerzas). Las aceleraciones en uno y en otro serán iguales solo si sus masas lo son. Es decir, si tenemos un cuerpo A y uno B y A ejerce una fuerza de cierta magnitud sobre B, B ejercerá una fuerza igual pero en dirección opuesta. Si ambos tienen masas iguales, las aceleraciones producidas en A por B y en B por A serán iguales, pero si uno de ellos tiene más masa que el otro, el que tenga menos masa experimentará una mayor aceleración que el que tiene mayor masa. En concreto, si un tren choca de frente con un pájaro, la fuerza ejercida por el pájaro contra el tren y por el tren contra el pájaro son iguales, sin embargo, la aceleración que producirá el pájaro sobre el tren es ínfima, porque el tren tiene una masa mucho mayor, en tanto que la aceleración producida por el tren en el pájaro, será enorme (porque el pájaro tiene muy poca masa). Es decir, el pájaro saldrá volando mientras que el tren ni se inmutará (como cuando un automóvil atropella una mariposa, o una ciruela cae sobre la Tierra).

Las leyes de Newton poseen un carácter muy general: no nos dicen qué tipo de fuerzas hay, ni precisan si algún cuerpo se mueve inercialmente, ni cuál es la fuerza ejercida por un cuerpo sobre otro. Pero si agregamos

estos datos, nos permiten calcular adecuadamente algunas cosas. Consecuentemente, Newton complementa sus leyes considerando algunas fuerzas y modelos particulares. En especial, la fuerza gravitatoria. En ese caso, lo que afirma Newton es que existe una fuerza que actúa a distancia que depende de las masas de los cuerpos y de sus distancias. La misma, llamada “fuerza de gravedad”, es proporcional a la masa de los cuerpos (es mayor cuanto mayores son las masas de los cuerpos) y disminuye en su intensidad como el cuadrado de sus distancias. Resumidamente, cuanto más cerca están dos cuerpos, la intensidad de su atracción crece muchísimo. La idea de que una fuerza actuara a distancia hubiera sido inaceptable para Aristóteles, y de hecho fue objetada por muchos científicos y filósofos de la época y posteriores.

Al hacer uso de estas leyes, con los datos adecuados para comenzar, Newton podía explicar la caída de los cuerpos y la aceleración que experimentan al caer, las trayectorias de proyectiles, como las que discutimos al final del apartado anterior, y especialmente, aceptando la primera ley de Kepler y precisando los datos de los planetas, que podían explicar el resto de las leyes de Kepler. Lo importante, lo fundamental, es que con las tres leyes de Newton, la física poseía un marco general desde el cual tratar el problema del movimiento, tanto de cuerpos sobre la tierra como de astros. Ese fue el principal aporte de Newton: ofrecer una nueva teoría general del movimiento desde la cual la física terrestre y la celeste pudieran ser tratadas del mismo modo.

Otro fenómeno, que no hemos mencionado hasta aquí, pero que Newton también pudo incorporar dentro de su esquema, es el fenómeno de las mareas. Cualquiera que ha ido al mar sabe que, a ciertas horas, el agua sube sobre la costa y, en otras, se retira y que esto pasa más de una vez al día. Newton tuvo la habilidad de analizar este fenómeno considerando la relación entre la Tierra, el Sol y la Luna. El Sol ejerce su influencia

por su gran tamaño, pese a su distancia, y la Luna por su cercanía, pese a su relativamente pequeño tamaño. Las posiciones relativas de ambos astros oponiéndose o contribuyendo entre sí, son los responsables de las mareas observándose un máximo cuando ambos astros están alineados y un mínimo cuando se hallan en oposición.

El mundo newtoniano era completamente distinto a aquel planteado por Aristóteles, cuya forma de pensar había dominado por siglos en la comunidad científica de Oriente y de Occidente. Según Aristóteles, el mundo estaba formado por sustancias, y estas incluían constitutivamente fines y metas intrínsecas. Los cuerpos sublunares que caían, lo hacían porque se dirigían hacia su lugar natural, tenían el fin de reposar en un lugar del universo. Las explicaciones más adecuadas, de este modo, eran aquellas que remitían a fines. Lo mismo ocurría para explicar los cambios de los organismos vivos. La razón por la que una semilla se transformaba poco a poco en un árbol de determinada especie, tenía que ver también con un cambio natural dirigido hacia un fin. El crecimiento de una planta y la caída de un cuerpo constituían casos de movimientos naturales.

El mundo de Newton estaba formado por átomos. Los átomos no tienen ningún tipo de fin. Todo lo que ocurre con ellos se explica a partir de la forma en que son afectados por las diferentes fuerzas. En este sentido, no hay lugar en física para ninguna explicación que evoque a ningún tipo de fin. Las cosas se mueven y cambian su estado de movimiento porque fuerzas actúan sobre ellas. Por otra parte, el universo no es pequeño y no ocupamos un lugar central en él. No ocupamos ni siquiera un lugar central en nuestro sistema solar y, además, este es uno de los infinitos sistemas que conforman el universo, y tampoco ocupa un lugar especial en él.

El éxito del marco newtoniano y sus desarrollos durante los siglos XVIII y XIX fueron arrolladores. Los efectos de la visión y concepción moder-

nas trascendieron con mucho el ámbito específico de la física. Nada es perfecto, sin embargo, y el universo newtoniano distaba de ser el último capítulo de la física. Con el tiempo, la teoría de Newton sería reemplazada, a comienzos del siglo XX, por otras propuestas novedosas. En particular, por las teorías formuladas por Albert Einstein.

Mencionaremos solo un problema cosmológico discutido por Newton en su correspondencia con Richard Bentley (1662-1742). En ese contexto, la discusión parece teológica y está destinada a probar la existencia e intervención de Dios en el mundo físico (Newton, 2004). El dilema que plantea Bentley a Newton es el siguiente: existe solo un conjunto exacto de condiciones iniciales (distancias y velocidades inerciales de los cuerpos celestes) de acuerdo con el cual el universo es estable; con velocidades iniciales ínfimamente menores o posiciones más cercanas, la fuerza de gravedad haría que todo el universo colapsara hacia algún centro haciéndose compacto cada vez más velozmente; con velocidades iniciales ligeramente mayores o estando los cuerpos algo más alejados, el universo se desintegraría. Esto mismo puede ser planteado con el movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Con una velocidad media ligeramente menor, la fuerza de gravedad atraería a la Tierra hacia el Sol, la cual comenzaría un recorrido en espiral cada vez más veloz hasta chocar con el Sol. Con una velocidad media ligeramente mayor, la Tierra empezaría a distanciarse describiendo una espiral que se alejaría del Sol hasta perderse en los confines del universo. Esto es cierto en relación con cada uno de los planetas, y en cuanto a las lunas de los planetas con respecto a ellos. Planetas y satélites van, de todas las numerosas posibles velocidades a las que podrían ir, justo a la velocidad a la que no caen al Sol ni se alejan de él. Si arrojáramos azarosamente objetos al espacio, ¿cuán bajas serían las probabilidades de que justo se organizaran en un sistema estable?

¿Cómo se explica la estabilidad del universo? Newton no dudó en admitir que Dios es quien había dispuesto el sistema de este modo estable, e incluso, que cada tanto intervenía, como un relojero que hace pequeños ajustes para mantener el buen funcionamiento de su obra.

Existe una explicación alternativa que no necesita apelar al diseño de ninguna entidad sobrenatural, arquitecta de esta estabilidad. Newton no plantea esta solución (tal vez nunca se le haya ocurrido) que hoy se encuentra a mano, de modo que cualquiera de ustedes podría llegar a descubrirla. ¿Cómo es que los planetas van justo a la velocidad a la que no caen al Sol ni se escapan de la fuerza gravitatoria de este?

El tipo de respuesta que hoy consideramos más adecuada a este problema ejemplifica un nuevo modo de pensar inaugurado por la Revolución darwiniana, que veremos en la segunda parte de esta unidad.

ACTIVIDAD

Según lo desarrollado hasta aquí, a fin de integrar y sintetizar los contenidos, les proponemos responder:

- a. ¿Cuáles son los fenómenos que buscaba explicar la astronomía antigua? Consideren, especialmente, aquellos descriptos por los siguientes conceptos: estrellas fijas, estrellas errantes (planetas), eclíptica y retrogradación.
- b. ¿Cómo se explican estos fenómenos según el llamado “universo de las dos esferas”? c. ¿Cómo se explican las retrogradaciones a partir del sistema de epiciclos y deferentes? d. En términos de Aristóteles, ¿en qué consisten las diferencias entre el universo sublunar y supralunar?
- e. La concepción de Copérnico y la ptolemaica: ¿qué comparten y en qué difieren? f. ¿Cómo se explican las retrogradaciones en el sistema de Copérnico?
- g. ¿En qué consiste el problema de la paralaje? ¿Qué respuesta ofrece Copérnico?
- h. ¿Cuáles son los aportes de Kepler a la Revolución copernicana?
- i. ¿Qué es lo relevante de las observaciones realizadas por Galileo con el tele-

scopio? j. ¿Cómo explica Galileo que no percibamos el movimiento de la Tierra? k. Suele decirse que una de las razones más fuertes para que se terminara aceptando la teoría de Newton está vinculada con su capacidad unificadora. ¿Cómo se explica dicha capacidad?

2. Segunda parte

La Revolución darwiniana

De manera semejante a como los aportes de Copérnico, de Kepler, de Galileo y de Newton revolucionaron la física aristotélica, la publicación de *El origen de las especies* de Charles Darwin (1809-1882) **cambió drásticamente la forma de abordar y comprender la vida**, en sus múltiples manifestaciones. Parte de ese relato que nos transmiten las principales instituciones educativas a las que asistimos, al que se hacía referencia en la introducción, nos cuenta que los **seres humanos somos tan solo una más de tantas especies que habitan este planeta**. Al igual que el resto de los seres vivos, nuestro desarrollo y crecimiento se encuentran en parte codificados en nuestro **ADN**, hemos **evolucionado** a lo largo de millones de años a partir de formas de vida diferentes, sin ningún tipo de dirección prefijada. Puede afirmarse que la obra de Darwin *El origen de las especies* es uno de los grandes responsables de que hoy asumamos como esencialmente correcto este aspecto de la historia que nos cuentan. Si bien Darwin no fue el primero en defender una teoría evolucionista a la hora de explicar la aparición de rasgos en los seres vivos tan delicadamente ajustados al entorno en el que viven; ciertamente, puede pensarse que **su teoría de la evolución por selección natural fue la primera en ofrecer una explicación adecuada del aspecto adaptativo de la evolución**, según veremos y, al mismo tiempo, fue capaz de ensamblar un **conjunto de evidencias empíricas originalmente inconexas, proveniente de diversas áreas científicas**, tales como la paleontología, la cría de animales, la embriología, etc.

Esta segunda parte se divide en cuatro apartados. En el apartado 2.1, repasaremos brevemente los supuestos filosóficos subyacentes de las concepciones denominados “creacionistas” en su intento por dar cuenta de las adaptaciones y de la diversidad de los seres vivos, respectivamente. En el apartado 2.2, revisaremos algunas de las propuestas evolucionistas anteriores a Darwin, así como algunas de las respuestas que estas recibieron por parte de ciertos autores creacionistas. En el apartado 2.3, en primer lugar, nos detendremos a examinar algunas de las distintas fuentes de conocimiento que influyeron en el pensamiento de Darwin. En segundo lugar, trataremos el enfoque darwiniano acerca de la evolución, principalmente su teoría de la evolución por selección natural y su teoría del ancestro común. En el apartado 2.4, veremos algunas de las consecuencias filosóficas que acarreó el planteo de Darwin, tanto en la concepción del hombre como en cuanto al tipo de explicación que es posible y deseable elaborar en la ciencia.

2.1. El creacionismo: supuestos filosóficos subyacentes

Mucho tiempo antes de que Darwin publicara *El origen de las especies*, los naturalistas tenían una gran cantidad de información acerca de los seres vivos y habían logrado sistematizarla exitosamente. Dos hechos les llamaban profundamente la atención: por un lado, las *adaptaciones de los organismos*. Al respecto, David Hume [1711-1776] señalaba, en su obra de publicación póstuma: “Todas esas variadas máquinas y aún sus partes diminutas, se encuentran ajustadas entre sí con una precisión tal que genera una gran admiración entre aquellos que las contemplan” (Hume, 1779, parte II). Por otro lado, la gran *diversidad de seres vivos*, literalmente millones de tipos distintos de plantas y animales.

Las adaptaciones y la diversidad llamaban la atención de los naturalistas, pero aún más llamativos eran los patrones que podían identificarse

dentro de esa diversidad. Las incontables variaciones de organismos que encontramos en la naturaleza eran pasibles de ser clasificadas, pues, si bien existían mamíferos y pájaros que nadaban como peces, ninguno tenía branquias, si bien había perros de distintos tamaños y formas, ninguno tenía escamas. Los diferentes rasgos de los organismos no se encontraban repartidos de manera aleatoria, sino que era posible encontrar un sistema, basándose en los patrones en los que tales rasgos se presentaban. Esto permitía realizar clasificaciones. Para la época de Darwin, los grandes naturalistas, como Carlos Linneo (1707-1778), ya habían logrado sistematizar una gran cantidad de información. A partir de esa sistematización y de los patrones identificados, desarrollaron la clasificación de los seres vivos, dando lugar así a las denominadas “taxonomías”. Realizaron esta tarea adoptando y corrigiendo las clasificaciones antiguas de Aristóteles. Estos patrones que presentaba la diversidad de los seres vivos permitieron a Linneo llevar a cabo una clasificación jerárquica que distinguía entre reinos (por ejemplo, animal); cada uno de esos reinos, a su vez, se encontraba dividido en clases (por ejemplo, mamíferos) que, también, podían ser divididas en órdenes (por ejemplo, carnívoros), familias (por ejemplo, *canidae*), géneros (por ejemplo, *canis*) y especies (por ejemplo, *lupus*). Por su parte, las especies podían ser subdivididas en subespecies o variedades (por ejemplo, *canis lupus familiaris* – pastor alemán).

Si bien Linneo realizó importantes modificaciones a la taxonomía de Aristóteles, su manera de clasificar a los seres vivos, mantenía muchos de los supuestos fundamentales de la filosofía de Aristóteles. Para Aristóteles todas las cosas, y no solo los seres vivos, tenían dos tipos de propiedades: esenciales y accidentales. Si una propiedad esencial de un objeto cambiaba, cambiaba la naturaleza del objeto. En tanto las propiedades accidentales eran aquellas que podían variar entre individuos u objetos que comparten las mismas propiedades esenciales, sin que cam-

bie su naturaleza. La idea es que, en el caso de los seres vivos, estos podrían agruparse en *especies*, por ejemplo, *debido a ciertas propiedades esenciales en común*, mientras que las diferencias que permiten agrupar en *variedades a los organismos de una especie serían accidentales*. Así, desde el punto de vista aristotélico, un dálmata, un caniche y un collie compartirían una esencia que los hace ser perros, pero se diferenciarían en las propiedades accidentales que caracterizan a cada una de estas variedades: tamaño, patrón del pelaje, largo del pelo, etc.

Aristóteles desarrolló su teoría de las esencias como un intento de mejorar la teoría platónica de las *ideas* de acuerdo con la cual cada entidad terrenal era una copia imperfecta de un ejemplar ideal o forma que existía eternamente en el mundo de las Ideas. Si bien este mundo de abstracciones, tal como lo concebía Platón, no era visible, era accesible por medio de la mente de manera independiente de la experiencia. Así como se consideraba que un geómetra razonaba y probaba teoremas acerca de las propiedades que poseen *formas* como el círculo y el triángulo, también existían *formas* o *ideas* para la jirafa y el hipopótamo que las ciencias intelectivas de la naturaleza debían indagar. Asimismo, del mismo modo en que ningún círculo terrenal, aún elaborado con el máximo cuidado, jamás podría ser el círculo perfecto de la geometría euclidiana, ningún hipopótamo en la naturaleza podía manifestar perfectamente la esencia o idea de hipopótamo (Dennet, 1995).

Las concepciones de Platón y de Aristóteles, no solo influyeron en la manera en que los naturalistas anteriores a Darwin –como Linneo– sistematizaron y clasificaron la información acerca de los seres vivos, sino que, también, dejaron su huella en el tipo de *preguntas y respuestas* consideradas *valiosas a la hora de investigar los fenómenos naturales*. Aristóteles distinguía cuatro preguntas básicas acerca de cualquier entidad (Dennet, 1995):

1. ¿Cuál es su *materia o causa material*? (es decir: ¿de qué está hecho?)
2. ¿Cuál es su *causa formal*? (es decir: ¿con qué forma, estructura o configuración se presenta?)
3. ¿Cuál es su *causa eficiente*? (es decir: ¿cuál es su origen, cómo comenzó a existir, qué lo puso en movimiento?)
4. ¿Cuál es su *causa final*? (es decir: ¿cuál es su propósito, su meta o fin?)

Aquí nos interesa detenernos particularmente en la *causa final* aristotélica. Por cientos de años, tanto científicos como filósofos se han dedicado a buscar *respuestas por la causa final*, a las que se ha dado en llamar *explicaciones teleológicas* (el nombre proviene de la palabra *telos*, que en griego quiere decir “fin”). Una explicación teleológica es aquella que da cuenta de la existencia u ocurrencia de algo apelando a algún *propósito u objetivo que la entidad cumple*. Por ejemplo, si uno se pregunta por qué existen los martillos, la respuesta más obvia, seguramente consistirá en una explicación teleológica: los martillos existen porque alguien los inventó con un propósito, en este caso para martillar (Dennet, 1995). Cualquiera que conviva con niños pequeños habrá notado una característica de las respuestas a las preguntas por qué: es posible repreguntar, y repreguntar interminablemente, para cualquiera de las causas aristotélicas.

Aristóteles ofreció una manera de hacer frente a este problema de las explicaciones teleológicas: la repetición de “por qué” terminaba en el *primer motor inmóvil*. *El primer motor inmóvil*, para Aristóteles, es la *causa final y eficiente de los movimientos naturales*. El mundo aristotélico, sin embargo, es eterno. No fue creado ni diseñado por nadie. Esta idea aristotélica fue modificada cuando sus obras fueron reinterpretadas en el marco de la teleología cristiana durante el Medioevo. En esta rein-

interpretación, el primer motor inmóvil fue, por supuesto, identificado con el dios de los cristianos. Pero, este dios, a diferencia del primer motor inmóvil, habría creado el mundo, así como todos sus componentes. La finalidad de la vida, que en Aristóteles era intrínseca a las sustancias que conformaban en el mundo, fue reinterpretada como una finalidad extrínseca, dependiente de los objetivos conscientes del creador: Dios. Las diferentes entidades que poblaban el mundo se volvieron artefactos, cuyo fin dependía de las metas que el arquitecto les había otorgado en el plan de creación. En el siglo XIX, esta visión, que había sido desterrada de la física y la astronomía en la Revolución copernicana, seguía imperando en los estudios acerca de la vida.

Desde esta concepción, el origen de los diferentes rasgos de los organismos que les permiten estar adaptados a sus ambientes para asegurar su supervivencia en el lugar en que viven, era explicado también, apelando al plan de creación divina: ¿cómo los colibríes adquirieron el pico justo del tamaño que necesitan para comer el néctar de las flores? ¿Cómo los peces adquirieron la forma óptima para nadar en el agua con la menor resistencia posible? ¿Cómo los pájaros adquirieron huesos huecos y livianos, que les posibilitan el vuelo? La respuesta siempre apela a los planes del creador. Dios los diseñó de ese modo para que pudieran subsistir en sus hábitats naturales. Así, por ejemplo, William Paley (1743-1805) ante la pregunta: “¿Por qué existen adaptaciones?”, respondía: “Porque Dios las creó”. Para dar cuenta de las adaptaciones exhibidas en los diferentes seres vivos, argumentaba que de la misma forma en que al ver cómo funciona un reloj atribuiríamos el diseño de su estructura a un relojero, al observar el funcionamiento de las distintas adaptaciones biológicas debemos atribuir su complejo diseño a un Dios creador:

Al examinar la estructura del reloj hallo en él que las partes de que se compone han sido hechas unas para otras y con determinado objeto; que ese objeto es el movimiento; y que ese movimiento se dirige a señalar las horas [...]. Veo que

está proporcionado el calibre de estas ruedas a que en tiempo determinado se muevan las manecillas con perfecta regularidad sobre la carátula; que las ruedas son de un metal que no oxida, los muelles de un material muy elástico [...]. Forzoso es que esta máquina sea obra de uno o de muchos artífices, que estos artífices existiesen antes de fabricarla; y que al fabricarla se propusiesen el resultado de ella que estoy observando [...] Toda observación hecha [...] respecto al reloj puede ser repetida con propiedad, en relación al ojo, a los animales, respecto incluso a todas las partes organizadas de los dominios de la naturaleza. (Paley, 1802, 1-3)

Antes que Darwin publicara sus investigaciones, el creacionismo era una de las concepciones más aceptadas acerca del origen de los seres vivos.

En el siglo XVII, se encontraba fuertemente establecida la creencia de que la Tierra solo tenía unos pocos miles de años de antigüedad y se explicaba tanto el origen de nuestro planeta, como la existencia de los seres vivos que lo habitaban, apelando a Dios, que había creado a cada uno de los antepasados de dichos organismos de manera directa, de acuerdo con una *idea* (Platón) o *esencia* (Aristóteles). De esta manera el idealismo platónico, de la mano del esencialismo y la teleología aristotélicos, en su reinterpretación teológica, configuraron una manera de abordar la naturaleza en la que la diversidad de los seres vivos podía ser sistematizada por medio de una clasificación que en última instancia reflejaba las ideas o esencias en la mente de Dios, que había creado a cada una de las diferentes especies con los rasgos (adaptaciones) que las caracterizaban.

Hacia mediados del siglo XVIII fue cobrando importancia un movimiento que no se conformaba con los argumentos esbozados por la teología natural a la hora de dar cuenta de la diversidad de seres vivos y sus adaptaciones. Las motivaciones que condujeron a muchos naturalistas a cuestionar al creacionismo no eran solo intelectuales sino también ideológicas y políticas. En gran medida la filosofía de la Ilustración, que proponía al poder de la razón como principal fuente de conocimiento, cuestionó la autoridad de la Iglesia a la hora de dar explicaciones

satisfactorias respecto de los principales fenómenos del mundo natural, y con ello, a los resabios de pensamiento antiguo adoptados por las concepciones monoteístas. De este modo, **este movimiento comenzó a formular explicaciones que no involucraban entidades divinas de estos fenómenos**, muchas de las cuales, como veremos, **apelan a un proceso de transformación de organismos más simples a organismos cada vez más complejos** (una forma de evolucionismo) que entra en franco conflicto con la cosmovisión imperante en el creacionismo de la época. Este conflicto se genera dado que ni las formas platónicas, ni las esencias aristotélicas en su reinterpretación teológica como ideas en la mente de Dios, se diferencian entre sí en términos graduales. Pues, como veíamos, si bien las diferentes formas pueden cambiar en sus propiedades accidentales, el cambio de forma, al cambiar alguna propiedad esencial, no es gradual. Dado que no hay gradación entre las formas o esencias, **la evolución gradualista constituye una imposibilidad lógica en la concepción platónico-aristotélica** (Mayr, 1959).

En el próximo apartado nos detendremos a revisar algunas discusiones previas a las ideas de Darwin, que influyeron fuertemente sobre su pensamiento. El resultado de estos debates condujo al debilitamiento del esencialismo y del idealismo creacionistas, hecho que dio lugar a la aceptación de que las especies eran producto de un proceso histórico y de que la creación de Dios podía ser comprendida de mejor manera por medio de leyes naturales que dieran cuenta de su accionar. Como veremos en el apartado 2.3, estos debates hicieron efecto en el pensamiento de Darwin.

2.2. El debate entre evolucionistas y creacionistas antes de Darwin

Si bien muchas de las posiciones que se propusieron para enfrentar al creacionismo, antes del enfoque darwiniano, podrían denominarse “evo-

lucionistas”, no todas ellas fueron capaces de ofrecer una descripción detallada de este proceso clave, y las que lo hicieron, brindaron una concepción acerca de la evolución bastante diferente de la que luego propuso Darwin. Por ejemplo, Denis Diderot (1713-1784) cuestionó la creencia de que las especies fueran constantes, al mismo tiempo que defendió la idea de que el mundo natural consistía en una secuencia de transformaciones que continuamente alteraban las estructuras físicas sin ningún tipo de plan o propósito prefijado, conjeturando que la naturaleza engendraba monstruosidades, seres con nuevos rasgos, que lograban sobrevivir, dando lugar a una nueva especie. De la misma manera, Georges Louis Leclerc (1707-1788), conde de Buffon, ridiculizaba la búsqueda del plan divino de la creación por parte de Linneo y sostenía que las especies debían ser lo suficientemente flexibles como para poder adaptarse a las nuevas condiciones que imponía un mundo en constante cambio. Según Buffon, las especies que podían ser agrupadas bajo un género moderno descendían de un antepasado único, de forma tal que el león y la pantera no eran consideradas como dos especies distintas sino más bien variedades de una misma especie. Sin embargo, ni Buffon ni Diderot se encargaron de elaborar una teoría detallada acerca de cómo ciertas especies se transformaban para dar lugar a otras especies, en parte quizás porque ambos pensaban que la materia orgánica podía producir seres vivos complejos mediante generación espontánea, es decir, que la materia inerte podía producir de manera directa organismos complejos (Bowler y Morus, 2005).

Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), en cambio, ofreció una descripción específica de cómo ocurría la evolución adaptativa, es decir, de cómo los rasgos de ciertas especies se transformaban para dar lugar a otras variedades más adaptadas al ambiente. Lamarck explicaba las adaptaciones a través de dos leyes (Lamarck, 1809, cap. VII):

- *Primera ley*: durante la vida de los animales, estos ejercitan ciertos órganos mientras que otros entran en desuso. Los más utilizados se ven fortalecidos y desarrollados mientras que los menos usados se van debilitando (comúnmente se la conoce como “ley del uso y desuso de los órganos”).
- *Segunda ley*: los cambios pequeños y graduales que experimentan en vida los individuos de una especie son transmitidos a sus descendientes (conocida como la “ley de la herencia de los caracteres adquiridos”).

De acuerdo con este enfoque, los rasgos adquiridos por el uso o desuso, durante la vida de un individuo, podrían ser transmitidos a la descendencia, de manera tal que, como resultado de este proceso, se produciría la adaptación de la especie al cambio en el entorno. En el célebre ejemplo de la jirafa, el cuello largo de este animal es el resultado de que sucesivas generaciones de jirafas lo fueron estirando para alcanzar las hojas de los árboles cada vez más escasas a bajas alturas. A estas dos leyes, Lamarck agregaba la existencia de una tendencia a la complejidad inherente a la forma en que los organismos evolucionaban. La noción de evolución lamarckiana tenía, en consecuencia, una tendencia progresiva y dirigida, que, como veremos, será discutida por Darwin. Al apelar a estos tres factores, era posible explicar la evolución de los organismos vivos. Según Bowler y Morus, Lamarck:

Aceptaba la generación espontánea, recurriendo a la electricidad como fuerza capaz de dar vida a la materia inerte, pero presuponía que sólo podían producirse de ese modo las formas de vida más simples. Los animales superiores habían evolucionado a lo largo del tiempo gracias a una tendencia progresiva que volvía cada generación ligeramente más compleja que la de sus padres. Lamarck creía que, en teoría, esa progresión generaría una escala lineal de organización animal –de hecho, una cadena del ser con los humanos como productos finales superiores–. Obsérvese, no obstante, que este modelo de “escalera” de la evolución no incluía ramificación, pues había muchas líneas paralelas que ascendían partiendo de distintos episodios de generación espontánea. Lamarck negaba la posibilidad de extinción y la realidad de las especies. En su opinión, la escala era absolutamente continua, sin huecos que separaran las diferentes especies (los huecos que vemos se debe a que no se disponía de información; los eslabones que faltan están ahí, en alguna parte). (Bowler y Morus 2005, 170)

A esta “avanzada” de enfoques que se proponían explicar la diversidad de la vida y las adaptaciones de los seres vivos al entorno en el que se desarrollan sin apelar a explicaciones sobrenaturales de ningún tipo, le siguieron una serie de réplicas creacionistas.

Sin embargo, el análisis cada vez más detallado del registro fósil llevó a que, aún, los naturalistas más conservadores de la época se vieran impulsados a considerar a las especies actuales como la última etapa de un proceso histórico y, además, a que tuvieran que incorporar un elemento de cambio sin respaldar a la evolución como proceso que engendraba nuevas especies. Por ejemplo, Georges Cuvier (1769-1832) estableció que el orden de la naturaleza de su época era tan solo el último de una larga secuencia, defendiendo la idea de que la Tierra había pasado por diversas eras geológicas con sus respectivas poblaciones de animales y plantas. Por otro lado, se opuso fuertemente a la teoría de Lamarck, sosteniendo que las catástrofes geológicas habían exterminado totalmente las poblaciones de los continentes, posibilitando que una población totalmente nueva emergiera luego del desastre (Bowler y Morus, 2005). Si bien las brillantes investigaciones de Cuvier acerca del registro fósil se ajustan hasta cierto punto a la aparición progresiva de los organismos, él se opuso férreamente al evolucionismo lamarckiano. En sus estudios paleontológicos puede observarse que los reptiles y peces aparecen antes que los mamíferos. Los mamíferos primitivos tienen formas extrañas mientras que las formas siguientes se parecen más a las actuales, y no parecen existir fósiles humanos. Sin embargo, Cuvier argumentó que la ausencia de formas intermedias entre las distintas especies entraba en conflicto con el evolucionismo lamarckiano. Para Cuvier si los organismos evolucionaran deberían observarse formas intermedias entre los diferentes grupos de organismos. La ausencia de esas formas intermedias permitiría rechazar de plano cualquier forma de evolucionismo gradual.

Asimismo, hizo especial hincapié en el hecho de que los animales momificados traídos de Egipto eran idénticos a los actuales, como prueba de la inadecuación del evolucionismo (Ruse, 1979).

Más allá de la evidencia provista por el registro fósil y los animales momificados, las razones de Cuvier para rechazar el evolucionismo eran aún más profundas, **radicaban en una concepción acerca de los organismos diferente a la de Lamarck. Cuvier compartía con Aristóteles la idea de que los seres vivos se caracterizan por tener partes que, al igual que una máquina, cumplen un propósito específico**. A su vez, cada parte de un ser vivo se correlaciona con otra de manera tal que cada componente necesariamente depende de otros componentes dentro de ese organismo. Entonces, si la configuración biológica de una determinada especie fuera alterada más allá de ciertos límites, su todo armónico se desorganizaría tanto que el organismo sería inviable. Por ejemplo, si el corazón de un ser vivo se redujera demasiado en tamaño esto afectaría el funcionamiento de otros órganos vitales, tales como el cerebro, los pulmones, etcétera. De manera que esta concepción acerca de la necesaria correlación entre partes que caracteriza a los ejemplares de cada especie lo condujo a rechazar la hipótesis evolucionista, especialmente si esta suponía un cambio gradual (Ruse, 1979).

En sintonía con este enfoque, Richard Owen (1804-1892) propuso que detrás de la aparente diversidad de especies y de la complejidad de la naturaleza, debía existir algún tipo de principio ordenador que permitiera organizar la multiplicidad de seres vivos (a la manera de las “ideas platónicas” o de las “esencias aristotélicas”). Es decir, quería mostrar cómo todos los organismos vivos se derivaban de un mismo plan (Ruse, 1979, y Bowler y Morus, 2005).

Este principio ordenador, o “arquetipo”, eran los prototipos o modelos con los que Dios había creado a los distintos seres:

El arquetipo no restaba importancia a la idea de progreso: los peces primitivos eran las modificaciones más sencillas; los seres humanos, los más complejos. Para Owen, esto proponía una forma mejor del razonamiento basado en el diseño porque daba a entender que, bajo la abrumadora variedad de especies diferentes [...] había un principio ordenador que sólo podía surgir de la mente del Creador. Owen entendió que las sucesivas expresiones del arquetipo constituían un patrón progresivo que se extendía a lo largo del tiempo, algo que lo acercaba peligrosamente al transformismo, aunque él siempre insistía en que cada especie era una unidad bien diferenciada en el plan divino. (Bowler y Morus 2005, 173)

En la noción de “arquetipo” planteada por Owen es posible observar la influencia ejercida por el platonismo. Para Owen el arquetipo representa la “idea divina” platónica a partir de la cual se ha construido la estructura ósea de todos los vertebrados. Esta forma no era algo real de este mundo, ni un antepasado común en el que se unifican todos los descendientes como plantearía luego Darwin, sino una entidad extra mundana abstracta aún más auténtica que las conocidas por medio de los sentidos. En el marco de su teoría del arquetipo, Owen sostenía que existían dos fuerzas contrapuestas que operaban en la formación de los cuerpos de los vertebrados. Por un lado, una fuerza que generaba la similitud existente entre las distintas especies, repetición de partes y patrones de organización. Por otro lado, un “principio organizador específico” al que también llamó fuerza de “adaptación” que da lugar a las adaptaciones específicas que hacen que un organismo sea miembro de una especie y no de otra (Ruse, 1979). Este punto de vista le permitió a Owen definir el concepto de homología: Las homologías eran órganos o estructuras que mostraban un parecido estructural (ver Figura 17). Habría, entonces, dos tipos de similitudes entre organismos de diferentes especies: las que tienen que ver con rasgos adaptados a cumplir la misma función (como la que existe entre las alas de una mariposa y las alas de un pájaro, o la forma hidrodinámica que tienen los peces y los delfines), y aquellas que involucraban parecidos estructurales (como la que existe entre la aleta de la ballena, el ala de un murciélago y nuestra mano, en los que se pueden encontrar parecidos entre la cantidad de huesos y sus posiciones relativas).

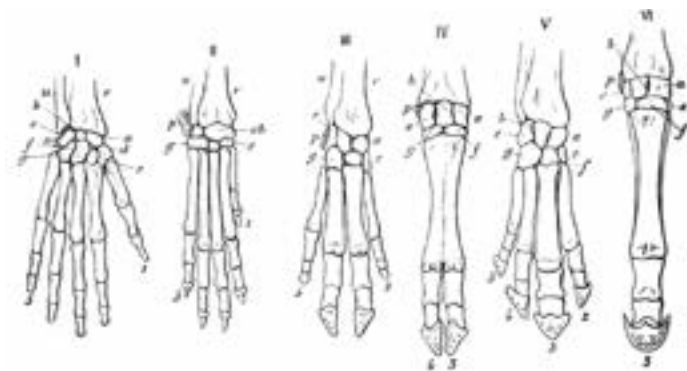


Figura 17. Homologías entre los miembros anteriores de varios animales²

Si bien Owen consideraba que las especies podían sufrir modificaciones importantes, rechazaba el evolucionismo lamarckiano, no solo por razones filosóficas, vinculadas a su platonismo, sino también por la evidencia provista por el registro fósil. Las especies eran para él entidades bien diferenciadas, y si bien los “arquetipos” producirían una secuencia de especies relacionadas por homologías anatómicas, él creía que estas relaciones representan un patrón subyacente del pensamiento divino, esto es, la creación progresiva de especies conducente a un aumento de la complejidad que culmina en la humanidad. Owen argumentó que el registro fósil de los grandes reptiles, para los que acuñó el nombre de “dinosaurios”, contradicen las ideas de transmutacionales progresivas de Lamarck porque esos reptiles eran más sofisticados que los reptiles del mundo actual.

Como puede verse, si bien muchos naturalistas presentaron una fuerte resistencia a abandonar las principales tesis creacionistas, gradualmente comenzaron a admitir que las especies actuales constituyen la última fase de un proceso histórico, y que la finalidad de Dios podría ser descifrada de mejor manera apelando a leyes o regularidades naturales que

² Gegenbaur, Carl, *Grundzüge der vergleichenden Anatomie*. 2. umgearb. Auflage. Mit 319 Holzschnitten. Leipzig, Verl. von Wilhelm Engelmann, 1870. 892, fig. 223. P. 692. Extraído de http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Gegenbaur_1870_hand_homology.png

a una creación milagrosa. Por ello, puede decirse que los trabajos de Diderot, de Buffon y de Lamarck –entre otros– contribuyeron de manera significativa a allanar el terreno para que la concepción evolucionista de Darwin fuera mejor asimilada por los científicos de la época.

En el próximo apartado, nos detendremos en la propuesta evolucionista de Darwin, pero antes revisaremos algunos conocimientos científicos de la época que influyeron fuertemente en su pensamiento.

2.3. La Revolución darwiniana

Bowler y Morus (2005) identifican al menos cuatro fuentes de información clave que influyeron fuertemente en el pensamiento de Darwin: la propuesta geológica de Charles Lyell (1797-1875), sus propias investigaciones en las islas Galápagos, la cría de animales y el aporte de Thomas Malthus (1766-1834) a la economía política. Lyell es propulsor de una metodología que Darwin asumiría: el **actualismo y el uniformismo**. De acuerdo con el **actualismo**, los fenómenos geológicos del pasado debían ser explicados en función del mismo tipo de causas que pueden observarse en la actualidad. Acorde con el **uniformismo**, los fenómenos geológicos del pasado no serían solamente del mismo tipo que los actuales, desde una perspectiva cualitativa, sino también cuantitativamente hablando: las causas de antes no eran más violentas que las actuales (Ruse, 1979). De este modo, según Lyell, los accidentes geográficos como la cordillera de los Andes no se habían formado como resultado de una única catástrofe, sino que habían ido ascendiendo **gradualmente en el transcurso de un extenso período** de tiempo. Lyell consideraba que, en contra del catastrofismo, los accidentes geográficos **solo se podían explicar apelando a causas que todavía hoy actúan** (como la erosión, los terremotos, el avance de los glaciares, etc.). Esta metodología implicaba una novedad que influiría sobre Darwin, así como también, sobre

la ciencia posterior en general: las explicaciones lyelleanas utilizaban como factor explicativo la apelación a cantidades enormes de tiempo. La Tierra, en consecuencia, era muchísimo más antigua de lo que se pensaba hasta el momento. Por otra parte, el ambiente cambiante de la geología de Lyell implicaba directamente la necesidad de que los organismos mismos cambiaran para no perecer:

Darwin juzgó necesario explicar la distribución y las adaptaciones de los animales y las plantas en términos lyellianos: la situación actual había de ser el resultado de cambios lentos producidos por causas naturales [...] el razonamiento de Paley no era válido en un mundo de cambio gradual [...] si la geología está modificando continuamente el entorno al elevar y destruir montañas, las especies debían o bien emigrar en busca de condiciones en las que sobrevivir o bien extinguirse de manera gradual. (Bowler y Morus 2005, 180)

En cuanto las observaciones realizadas por el mismo Darwin, fue decisivo el viaje realizado alrededor del mundo en su juventud. En particular, su paso por la Patagonia argentina y su expedición a las islas Galápagos. En las costas de Punta Alta, al sur de la provincia de Buenos Aires, encontró fósiles de roedores enormes que claramente se encontraban relacionados con los roedores actuales. En las islas Galápagos, Darwin tuvo la oportunidad de observar que las diferentes islas tenían distintos tipos de pinzones con características diversas. Por ejemplo, los pinzones mostraban picos significativamente diferentes, adaptados a maneras distintas de búsqueda de alimentos, algunos más anchos, que utilizaban para abrir nueces, otros más delgados y puntiagudos, que utilizaban para cazar insectos, etc. (ver Figura 18). A la vuelta de su largo viaje, al conversar con un ornitólogo sobre sus observaciones, este le dijo que en realidad cada variedad de pinzón debía ser considerada una especie diferente. Esto lo llevó a reflexionar: era inadmisible sostener que Dios había creado cada una de estas variantes de pinzones de manera independiente, para que cada una de ellas habitara una de aquellas islas diminutas, sobre todo teniendo en cuenta que las islas eran de reciente

formación. Mucho más razonable parecía creer que habiendo emigrado desde Sudamérica se habían establecido y cambiado para adaptarse al nuevo entorno. Si la transformación podía generar nuevas especies, ¿por qué no podría también, con tiempo suficiente, generar nuevos géneros, familias o clases?:

Al considerar el origen de las especies es completamente lógico que un naturalista, reflexionando sobre las afinidades mutuas de los seres orgánicos, sobre sus relaciones embriológicas, su distribución geográfica, sucesión geológica y otros hechos semejantes, pueda llegar a la conclusión de que las especies no han sido independientemente creadas, sino que han descendido, como las variedades de otras especies. Sin embargo, esta conclusión aunque estuviese bien fundada, no sería satisfactoria hasta tanto pudiese demostrarse cómo las innumerables especies que habitan el mundo se han modificado hasta adquirir esta perfección de estructuras u esta adaptación mutua que causa con justicia nuestra admiración.

(Darwin, 1859, 11)

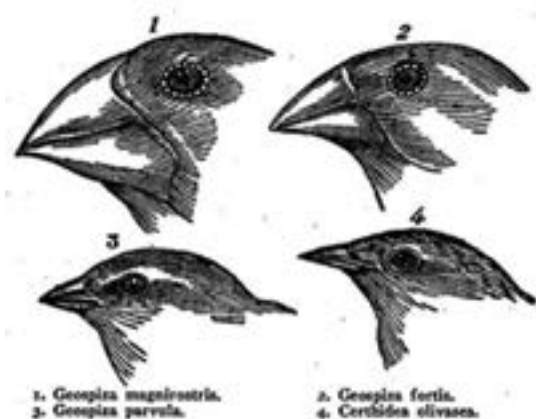


Figura 18. Diferentes pinzones. De la obra de Darwin *The voyage of the Beagle*

Darwin aceptaba las primeras dos leyes lamarckianas –no así la idea de que existía algún tipo de dirección evolutiva hacia la complejidad, ni de ningún tipo—. Sin embargo, la capacidad explicativa de tales leyes resul-

taba demasiado limitada. Solo eran aplicables cuando la modificación del organismo dependía del hábito que servía de insumo para el uso y desuso —como en el caso del esfuerzo de las jirafas por alcanzar las ramas más altas de los árboles—. ¿Cómo explicar la adquisición del color de piel de las cebras que le permiten camuflarse de sus enemigos, o que ciertas semillas tengan “ganchos” para lograr ser esparcidas (como los abrojos), o el sabor de las frutas, o la forma y color de las flores para atraer a insectos con el fin de polinizarse, etc.? En ninguno de estos casos el origen de la modificación podía deberse al uso o desuso de ningún órgano.

Para elaborar una explicación que permitiese dar cuenta de cómo las especies se habían modificado hasta poseer las características que exhiben en la actualidad, Darwin se vio fuertemente influenciado por dos fuentes: la cría de animales y la teoría de las poblaciones de Malthus. La primera le permitió observar el fenómeno de la variabilidad y la selección artificial (la selección realizada por criadores de parejas reproductoras con el fin de lograr ciertas características en ciertos animales). La segunda le permitió atender a la disparidad existente entre la cantidad de individuos y la cantidad de recursos disponibles para la supervivencia.

De la cría de animales, pudo constatar que en todas las poblaciones es posible hallar diferencias individuales, es decir que ningún organismo es idéntico a otro. Esta variación, que no parece responder a ningún tipo de patrón ni propósito obvio, era utilizada por los criadores al escoger el puñado de individuos que variaban en la dirección deseada —por ejemplo, escoger únicamente aquellos perros y perras que poseen una contextura física que les permite correr más rápido— y, de esta manera, generar descendencia solo a partir de los animales seleccionados. Por su parte, la célebre tesis de Malthus según la cual la capacidad que tiene una población para reproducirse siempre es superior a las provisiones de alimentos disponibles, le permitió atender a la lucha por la existencia que tales recursos limitados propiciaba.

De esta manera, Darwin propuso que la variabilidad podría ofrecer a algunos individuos una ventaja en la lucha por los recursos necesarios para la supervivencia, de manera tal que solo sobrevivirían aquellos individuos cuyos rasgos les permitían acaparar esos recursos. Al reproducirse estos individuos con los rasgos más ventajosos transmitirían tales características a su descendencia. Darwin llamó a este proceso “selección natural” en analogía con la “selección artificial” de parejas reproductora realizada por los criadores. Este proceso de selección natural, repetido a lo largo de innumerables generaciones, sería el responsable de modificar órganos y hábitos dando lugar a la aparición de nuevas especies:

Cómo es que las variedades que he llamado “especies incipientes” quedan transformadas finalmente en buenas y distintas especies, que en la mayor parte de los casos difieren claramente entre sí mucho más que las variedades de la misma especie [...] Todos estos resultados [...] son consecuencia de la lucha por la vida. Debido a esta lucha, las variaciones, por ligeras que sean y cualquiera que sea la causa de que proceden, si son en algún grado provechosas a los individuos de una especie en sus relaciones infinitamente complejas con otros seres orgánicos y con sus condiciones físicas de vida, tenderán a la conservación de estos individuos y serán, en general, heredadas por la descendencia. La descendencia también tendrá así mayor probabilidad de sobrevivir [...] Este principio, por el cual toda ligera variación, si es útil, se conserva, lo he denominado yo con el término de selección natural. (Darwin 1859, 80)

En la sexta edición de *El origen de las especies*, Darwin muestra el modo en que la selección natural actúa apelando al ejemplo del estiramiento del cuello de la jirafa:

En la naturaleza, en el origen de la jirafa, los individuos que comiesen más alto y que pudiesen durante los períodos de escasez alcanzar aunque sea una pulgada o dos por sobre los otros, serían frecuentemente preservados [...]. El que los individuos de la misma especie muchas veces difieren un poco en la longitud relativa de todas sus partes, puede comprobarse en muchas obras de historia natural en las que se dan medidas cuidadosas. Estas pequeñas diferencias en las

proporciones, debidas a las leyes de crecimiento o variación, no tienen la menor importancia ni utilidad en la mayor parte de las especies. Pero en el origen de la jirafa debe haber sido diferente, considerando sus probables hábitos de vida; pues aquellos individuos que tuviesen alguna parte o varias partes de su cuerpo un poco más alargadas de lo corriente, hubieron en general de sobrevivir. Se habrán cruzado y dejado descendencia que habrán heredado las mismas peculiaridades corpóreas, o la tendencia a variar de nuevo en la misma manera, mientras que los individuos menos favorecidos en los mismos aspectos, habrán sido más propensos a perecer. (Darwin, 1872, 270)

Básicamente, hubo un tiempo en que las jirafas no exhibían el alargamiento exagerado de sus partes que actualmente presentan, pero había variación respecto a la longitud de esas partes, que traía como consecuencia variación con respecto a la efectividad con la que se alcanzaban las ramas más altas de los árboles. Las jirafas que exhibían partes más alargadas, tenían más éxito que las otras al alimentarse, de modo que dejaban más descendencia que, a su vez, heredaban sus rasgos, mejorando su supervivencia. Puede observarse aquí en funcionamiento la estructura explicativa novedosa propuesta por Darwin.

Vale la pena recalcar que Darwin concebía a la lucha por la existencia en sentido amplio, es decir, incluyendo la dependencia de un ser vivo respecto de otro, involucrando no solo su vida sino también el éxito a la hora de dejar descendencia. En este sentido, puede entenderse a la selección natural como un poderoso mecanismo capaz de perfeccionar las estructuras biológicas adaptándolas al entorno, incesantemente, a lo largo de extensos períodos de tiempo:

Metafóricamente puede decirse que la selección natural está buscando día por día y hora por hora por todo el mundo las más ligeras variaciones; rechazando las que son malas; conservando y sumando todas las que son buenas; trabajando silenciosa e insensiblemente, cuando quiera y dondequiera que se ofrece la oportunidad, por el perfeccionamiento de cada ser orgánico en relación con sus condiciones orgánicas e inorgánicas de vida. Nada vemos de estos cambios

lentos y progresivos hasta que la mano del tiempo ha marcado el transcurso de las edades; y entonces, tan imperfecta es nuestra visión de las remotas edades geológicas, que vemos sólo que las formas orgánicas son ahora diferentes de lo que fueron en otro tiempo. (Darwin, 1872, 106)

Como se puede apreciar, la selección natural de Darwin es capaz de explicar los dos fenómenos centrales indagados por la teología natural: las adaptaciones y la diversidad. De acuerdo con la teoría de Darwin, la selección natural es la responsable de que las estructuras biológicas que pueblan la naturaleza se encuentren tan asombrosamente adaptadas al entorno. Asimismo, la presión ejercida por entornos cambiantes sobre los rasgos de los distintos organismos produce como resultado la conformación de distintas poblaciones de organismos con rasgos diferentes, es decir, adaptados a entornos distintos.

En este sentido, metafóricamente, podría pensarse que la selección natural constituye el relojero al que acudía Paley para explicar las adaptaciones. Con la diferencia de que la selección natural no persigue finalidad ni propósito alguno, y en consecuencia, ha sido comparada con un relojero “ciego”:

El argumento de Paley se encuentra elaborado con sinceridad apasionada y está informado por el mejor conocimiento académico de esa época, pero es incorrecto, gloriosa e incómodamente incorrecto. La analogía entre el telescopio y el ojo, entre el reloj y el organismo vivo, es falsa. A pesar de que parece todo lo contrario, el único relojero en la naturaleza son las fuerzas ciegas de la física, aunque desplegadas de una manera muy especial. Un verdadero relojero tiene previsión: diseña sus engranajes y resortes, y planea sus interconexiones, con un propósito futuro en su mente. La selección natural, el proceso ciego, inconsciente y automático que Darwin descubrió, y que ahora sabemos que es la explicación de la existencia de todas las formas de vida y de su aparente finalidad, no tiene ningún propósito en mente [...] No tiene plan para el futuro. No tiene visión, ni previsión, ni vista de ningún tipo. Si puede decirse que juega el papel del relojero en la naturaleza, es el de un relojero ciego. (Dawkins, 1986, 5)

La selección natural es un proceso carente de propósito preconcebido, pero, además, la dirección en la que la selección conduce la evolución de las diferentes poblaciones de organismos depende de contingencias del medio ambiente. Esta es una de las principales diferencias que separan a Darwin de Lamarck, para quien la evolución consistía en una secuencia de pasos predestinada desde lo más simple a lo más complejo. La complejidad aumenta a medida que avanza la evolución, no en virtud de que la selección natural favorezca inherentemente la complejidad, sino por el hecho de que en su inicio la vida es simple. En otras palabras, **la complejidad aumenta debido a las condiciones iniciales, no a propiedades intrínsecas de la selección natural**. Por otra parte, la selección natural actúa sobre variaciones llamadas habitualmente “aleatorias”. Esto no implica que sean azarosas estrictamente, Darwin no conocía la causa por la que aparece una nueva variante de una población. El punto es que no es necesario que las variaciones aparezcan porque podrían ser útiles para el organismo en el que se manifiestan. La selección opera sobre las variaciones disponibles.

Hasta aquí nos hemos centrado en el mecanismo de la selección natural para caracterizar el evolucionismo darwiniano. Pero existe otra característica de la evolución darwiniana, igualmente relevante, e independiente de la selección natural: la teoría del **ancestro común**. Según esta teoría **toda la vida que existe en la actualidad, así como todos los fósiles, tienen su origen en uno o unos pocos progenitores originarios**. De acuerdo con Darwin la **evidencia a favor** del ancestro común puede hallarse, sobre todo, en aquellos **rasgos semejantes no adaptativos que permanecen en ciertas especies**. Por ejemplo, los humanos y los monos poseen un coxis y los fetos humanos tienen hendiduras branquiales. Ambos rasgos constituyen evidencia a favor de un ancestro común debido, justamente, a su inutilidad (Sober, 2009), pues **su parecido no se debe a la acción de la selección natural modificándolas para ambientes semejantes, sino a que el rasgo fue heredado de un mismo antepasado**.

De manera que, en lugar de describir a la teoría darwiniana como *evolución* por selección natural como habitualmente se hace, podemos, siguiendo al filósofo de la biología Sober (2009) describirla como *ancestro común* más selección natural. Mientras la selección natural, como vimos, es capaz de dar cuenta de los fenómenos de la adaptación y de la diversidad, **la hipótesis del antepasado común es capaz de explicar por qué los seres vivos pueden ser agrupados en términos de géneros y especies.** De esta manera, el sistema propuesto por Linneo, que permitía agrupar a los organismos en variedades, especies, géneros, familias, etc., era bajo la perspectiva darwiniana un árbol genealógico (ver Figura 19). Por ejemplo, que diferentes especies se agruparan bajo un mismo género, implicaba un origen común de todas ellas, es decir, que todas ellas eran descendientes de un antepasado común.

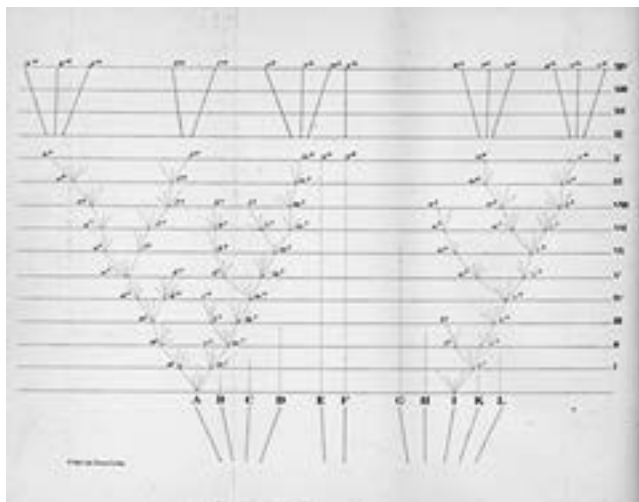


Figura 19. Ilustración de El origen de las especies, en la que se muestra como de antepasados surgen por ramificación nuevas especies, algunas se extinguen y otras vuelven a diversificarse, hasta llegar al tiempo presente.

Asimismo, la teoría del ancestro común permite explicar **las homologías descubiertas por Owen.** El hecho de que **las mismas combinaciones óseas se encuentren en distintas especies puede ser explicado apelando al modelo ramificado de evolución propuesto por Darwin.** Dadas dos

especies, cuanto más recientemente compartan un antecedente común, más estrechamente emparentadas estarán y, por lo tanto, compartirán más rasgos, es decir, serán más parecidas. Las homologías no representan una unidad de estructura tal como Owen las concebía, sino que constituyen rasgos similares por haber evolucionado de un mismo rasgo poseído por un antecesor común. Las similitudes estructurales entre las alas de los murciélagos, las aletas de las ballenas, las patas delanteras de un perro y nuestros brazos, por ejemplo, se deben a que todas provienen de modificaciones sobre un mismo rasgo poseído por el pequeño mamífero de cual todas estas especies provienen.

En este apartado nos hemos abocado a analizar las fuentes adoptadas por Darwin a la hora de elaborar su teoría. También nos hemos detenido en dos de sus tesis centrales: la evolución por selección natural y el ancestro común. En el próximo apartado, veremos cuáles fueron las consecuencias filosóficas que acarreó la publicación de *El origen de las especies*.

2.4. Las consecuencias filosóficas de la teoría de Darwin

Darwin evitó hablar de los humanos en *El origen de las especies*. No así en su obra posterior: *El origen del hombre*. En dicha obra, muestra una serie de argumentos muy fuertes con respecto a la relación entre los humanos y los simios, además de intentar mostrar que las diferencias entre las diversas razas humanas son meramente superficiales y se deben a la selección sexual. El párrafo final de esta obra resulta elocuente y bello:

Se puede excusar al hombre por sentir un cierto orgullo por haberse elevado, aunque no por su propio esfuerzo, a la cumbre misma de la escala orgánica; y el hecho de haberse elevado de esta manera, en lugar de haber sido colocado allí originalmente, puede darle esperanza de un destino todavía superior en el distante futuro. Pero aquí no nos conciernen las esperanzas ni los temores, sólo la verdad en la medida en que nuestra razón nos permita descubrirla; y he presentado las pruebas de la mejor manera que he sabido hacerlo. Sin embargo, hemos de

reconocer, según me parece, que el hombre, con todas sus nobles cualidades, con la simpatía que siente por los más envilecidos, con la benevolencia que extiende no sólo a los demás hombres sino al más insignificante de los seres vivos, con su intelecto divino, que ha penetrado en los movimientos y la constitución del sistema solar... Con todas estas capacidades enaltecidas, el hombre todavía lleva en su estructura corporal el sello indeleble de su humilde origen. (Darwin, 1872, 816)

En la actualidad, la resistencia generada por la obra de Darwin en su momento aún posee sus resabios en ciertos ámbitos religiosos, en los cuales perturba el intento de ofrecer una explicación estrictamente naturalista, que descarta todo tipo de causa sobrenatural a la hora de explicar el origen de los seres vivos y del hombre. De la misma manera, una teoría que nos relaciona profundamente con el resto de los seres vivos en múltiples dimensiones, en la que se intenta defender cierto grado de continuidad entre las facultades mentales de los simios y los seres humanos —en tanto comparten un antepasado común—, siempre fue vista como una amenaza que afectaba a la credibilidad en una alma inmortal, y, por ende, comprometía nuestro estatus exclusivo en la creación, poniendo en riesgo, supuestamente, la estabilidad del orden social. Pero las influencias de la Revolución darwiniana han sido mucho más extensas que las señaladas, pues han provocado cambios profundos en la forma en que nos concebimos y de nuestro lugar en el mundo, seamos religiosos o no. Pues la concepción de que no somos más que animales implica una serie de dilemas éticos interesantes, por ejemplo, al respecto del trato que brindamos a otros animales.

La Revolución darwiniana también conllevó cambios en relación con el modo de hacer ciencia. Como veíamos, la Revolución copernicana había traído ciertos cambios en el tipo de explicaciones brindadas. En particular, la Revolución copernicana había eliminado de la física las explicaciones finalistas o teleológicas, que apelaban a algún tipo de fin intrínseco en los objetos, al modo aristotélico. En el siglo XIX, tales

explicaciones seguían subsistiendo en la historia natural (que actualmente llamamos “biología”). Pues, como mencionamos, los organismos vivos exhiben estructuras que tienen ciertas funciones. También subsistía la idea aristotélica de explicación esencialista. Es decir, el biólogo debía encontrar los rasgos esenciales y necesarios para definir las especies, por detrás de las diferencias accidentales. Ambas cuestiones fueron radicalmente revertidas con el darwinismo. Por una parte, si bien la biología utilizaba y sigue utilizando explicaciones funcionales (también las utilizan otras disciplinas como la psicología o la sociología), las mismas no implican ni que existan fines intrínsecos en la naturaleza, como pensaba Aristóteles, ni que existan un diseñador o un arquitecto del mundo, como pensaban los teólogos naturales. La selección natural permite explicar cómo surgen fines y propósitos en el mundo natural sin necesidad de apelar a ningún diseñador inteligente. Por otra parte, el esencialismo aristotélico implicaba buscar los rasgos esenciales y necesarios por detrás de la variación contingente. Las divergencias y diferencias dentro de una especie debían ser dejadas de lado para conocer los rasgos esenciales, aquellos que definen a la especie frente a las otras especies del mismo género —llevado a su máxima expresión por Linneo—. El darwinismo implica un nuevo tipo de explicación y de pensamiento que suele llamarse “poblacional”. La clave de la evolución darwinista se encuentra en el estudio de eso que en otros marcos debía dejarse de lado: la variación, sin la cual, la selección natural no podría actuar, y que constituye, en consecuencia, la clave de la evolución.

En este sentido, puede considerarse a la Revolución darwiniana como continuadora y conclusiva de la Revolución copernicana. El siguiente fragmento, escrito por Galileo, resulta sumamente ilustrativo:

No deja de asombrarme en gran manera, e incluso ofender a mi intelecto, oír que se atribuye como gran nobleza y perfección a los cuerpos naturales e integrantes del universo ese ser impasible, inmutable, inalterable, etc., y por el contrario que

se considera una gran imperfección el ser alterable, generable, mudable, etc.

Por mi parte, considero a la Tierra nobilísima y admirable por tantas y tan diversas alteraciones, mutaciones, generaciones, etc., que se producen incesantemente en ella. (Galilei, 1990)

Aristóteles ha sido el filósofo y científico más influyente e importante de la antigüedad. Sin su labor, probablemente, la ciencia no sería la misma. Sin embargo, en conjunto, las revoluciones copernicanas y darwinianas se dedicaron a eliminar de la ciencia los estándares evaluativos y la concepción metafísica aristotélica, y a su éxito debemos la concepción actual de la ciencia.

En conclusión, el pequeño y confortable mundo geocentrista fue agrandado hasta el infinito durante la Revolución copernicana, el microscopio mostró que el infinito se encontraba también dentro de nosotros, y que cada gota de agua constituía un pequeño universo, la geología mostró que también el tiempo debía ampliarse hasta puntos inconcebibles, ahora, con Darwin, ni siquiera ocupamos un lugar especial en nuestro pequeño, viejo y alejado mundo: somos uno más de sus habitantes.

Y, sin embargo:

De la guerra de la naturaleza, del hambre y la destrucción, resulta directamente la cosa más elevada que somos capaces de concebir, es decir, la producción de los animales superiores. Hay grandeza en esta concepción de la vida, con sus muchos poderes, habiendo sido alentada en unas pocas formas o en una; y que, mientras este planeta ha ido girando de acuerdo a las leyes fijas de la gravedad, de tan simple comienzo, un sinfín de las más bellas y hermosas formas han evolucionado y siguen evolucionando. (Darwin, 1859, 490)

Este es el párrafo final de *El origen de las especies*. Lo primero que se puede notar en dicho fragmento es el intento característico de los siglos XVIII y XIX por legitimar el discurso al compararse con Newton. Hume se comparaba con el Newton de la mente humana, Immanuel

Kant (1724-1804) sostenía haber realizado la Revolución copernicana de la filosofía. Darwin, al comparar la selección natural con la mecánica clásica, evidentemente, se pone en el lugar de su descubridor. Esto constituye, además, un intento por legitimar la biología (la historia natural) no tan respetada por entonces.

En uno de los artículos de la última compilación de los escritos de Stephen Jay Gould, *Acabo de llegar*, el autor señala otra cuestión interesante al respecto del fragmento arriba citado (Gould 2002, 309-330). Al final del libro, es el único lugar en que Darwin utiliza el término “evolución”. Para referirse a lo que hoy llamamos “evolución”, solía emplear la expresión de “descendencia con modificación”, “transformación” o semejantes. Esto se debe a que la palabra “evolución” en el lenguaje natural (no en el lenguaje técnico de la biología evolutiva actual) incluye, además de la idea de cambio, la idea de despliegue de posibilidades o progreso. Y esto es lo que según Darwin no existe en la historia de la vida. En el párrafo final del libro, “evolución” permite hablar entonces del *despliegue de posibilidades* de la vida. Darwin contrapone tal despliegue a la constancia del girar del planeta, generando una contraposición entre los estudios de los dos fenómenos. El fragmento incluye entonces una defensa de la hoy llamada “biología” frente a la física. Según Darwin, el fenómeno que estudia, es más complejo e interesante.

Pero, además, resulta en una incitación a buscar belleza y sentido en este nuevo y enorme mundo, en donde además de no ser más que un estadio evolutivo, lo somos de una evolución que no tiene ninguna meta definida ni ningún carácter progresivo. Si uno conoce algo de la biografía de Darwin, esta incitación resulta heroica. Su posición acomodada no pudo evitar que Annie, una de sus hijas, muriese luego de un extremo sufrimiento el 23 de abril de 1851 a sus tempranos once años y ocho años antes de la publicación de *El origen de las especies*. Imposible no leer en este

fragmento la tensión entre las expresiones “guerra de la naturaleza” y el “sinfin de las más bellas y hermosas formas han evolucionado y siguen evolucionando”. Es a la “guerra” de la naturaleza, que nos causa tantas desdichas, a la que debemos nuestra existencia, nos dice Darwin. Es la tensión en la que el mismo Darwin vivía, y sirve de ejemplo, también, de la tensión de los tiempos que corren. Todavía no hemos digerido sus consecuencias éticas y filosóficas, ni los cambios que trae sobre nuestra concepción de mundo, religiosa o no. La ola generada por la Revolución darwiniana –continuación de la copernicana– todavía no rompió.

ACTIVIDAD

Les proponemos responder algunas preguntas acerca de la Revolución darwiniana:

- a. Diferencie n las interpretaciones del árbol de la vida (el sistema en el cual los organismos pueden agruparse en especies, géneros, familias, etc.) por parte de Linneo y de Darwin.
- b. ¿En qué consisten las homologías y cuál es la interpretación que de estas daba Owen? ¿Cuál es la interpretación evolutiva de las homologías dada por Darwin?
- c. ¿Cuál es la influencia que tuvo en Darwin la propuesta geológica de Lyell?
- d. ¿En qué consiste la importancia de observaciones de Darwin hechas en Galápagos, en particular aquellas que involucran a los diferentes picos de los pinzones?
- e. ¿De qué modo se interrelacionan la selección artificial (la selección realizada por criadores) con la lectura del texto de Malthus en el descubrimiento de la selección natural?
- f. Lean el texto de Darwin de la bibliografía de la materia y respondan el siguiente cuestionario:

1. Según dice Darwin en el prólogo, “si bien uno puede estar convencido de la evolución, de todos modos no puede considerarse satisfecho hasta explicar un hecho clave”. ¿En qué radica este hecho?
2. ¿Qué es la lucha por la existencia y qué significa que debe ser considerada en sentido amplio?
3. En la introducción, a comienzos del capítulo III y en el capítulo IV, Darwin expone la selección natural. ¿En qué consiste?
4. ¿En qué consiste la selección sexual? ¿Cuál considera, Darwin, que es la relación entre la selección sexual y la natural?

- g. Elaboren un cuadro sinóptico indicando de qué manera Paley, Linneo, Diderot, Buffon, Lamarck, Owen y Darwin explican, tanto la adaptación de la estructura a la función como la diversidad de los seres vivos.
- h. Realicen una red conceptual que permita enlazar las principales contribuciones de Lyell, las investigaciones de Darwin, las de Malthus y el método de cría de animales a la Teoría de la evolución por selección natural de Darwin.
- i. ¿En qué consisten las influencias metodológicas y filosóficas de la Revolución darwiniana?

Síntesis del capítulo

En la primera parte de este capítulo nos dedicamos a la Revolución copernicana. La primera sección, 1.1. Astronomía, cosmología y física, apuntó a delinear las tres disciplinas principales involucradas en esa revolución y sus interrelaciones. En 1.2. Los fenómenos celestes, desarrollamos algunas de las regularidades observadas en los cielos y su relación con fenómenos terrestres, como la sucesión de la estaciones y de los días y las noches. En 1.3. Dos máximos modelos del mundo, se presentaron los dos modelos explicativos de los fenómenos celestes: el modelo geocentrista y el modelo heliocentrista. En 1.4. La ciencia aristotélica, cosmología y física, se expusieron las ideas aristotélicas sobre la naturaleza de la materia, el movimiento, los lugares naturales y la estructura del cosmos. La sección 1.5., La astronomía antigua, presentó las ideas ptolemaicas, que rigieron la explicación de los fenómenos celestes hasta la modernidad. Luego, en 1.6. El pensamiento de Copérnico, se plantearon las ideas de Copérnico, su hipótesis de la Tierra móvil y cómo se daba cuenta, a partir de esta hipótesis, de los movimientos de los astros. En 1.7. La astronomía de Brahe y de Kepler, se discutieron algunos de los problemas astronómicos del sistema copernicano y cómo, a partir de las observaciones de los Brahe y de los desarrollos matemáticos de Kepler, el sistema copernicano logró superar, en simplicidad y capacidad predictiva, al sistema ptolemaico. La sección 1.8.,

El aporte galileano, estuvo dedicado a presentar los dos principales núcleos de trabajo de Galileo vinculados a la Revolución copernicana: las observaciones celestes con el telescopio y el principio de relatividad del movimiento. Finalmente, en 1.9. Epílogo: Newton, se presentó la forma que adquiriría la física con el enunciado del principio de inercia y las demás leyes de Newton así como el problema cosmológico que planteaba, llegando al final de la Revolución copernicana.

En la segunda parte abordamos la Revolución darwiniana. En el apartado 2.1. El creacionismo: supuestos filosóficos subyacentes, se señaló brevemente cómo Paley y Linneo intentaron dar cuenta de las adaptaciones y de la diversidad de los seres vivos, apelando a un Dios que había creado a los distintos organismos vivos de manera directa de acuerdo con ciertas “ideas” o “esencias”. En el apartado 2.2. El debate entre evolucionistas y creacionistas antes de Darwin, se revisaron algunos de los enfoques anteriores a la teoría de Darwin que dieron lugar, de una manera u otra, a algún tipo de proceso histórico involucrado en el surgimiento de los distintos seres vivos. Allí nos detuvimos en los aportes de transformistas como Diderot y Buffon, pasando por evolucionistas (obviamente no darwinianos) como Lamarck, incluyendo a naturalistas teológicos como Cuvier y Owen quienes, si bien consideran que el registro fósil pareciera evidenciar un proceso histórico previo al surgimiento de las distintas especies, no admiten ningún tipo de transformación en ese proceso histórico. En el apartado 2.3. La Revolución darwiniana, analizamos los aspectos principales de la teoría de la evolución darwiniana, centrándonos en los diversos conocimientos de la época que influyeron en su pensamiento, tales como la geología de Lyell, su excursión a las Islas Galápagos, la cría de animales y la economía política de Malthus.

Dentro de los principales aportes realizados por Darwin, se destacaron la tesis de la evolución por selección natural y la hipótesis del ancestro

común. De acuerdo con la primera, dado que los recursos naturales necesarios para la supervivencia son escasos, es decir, existen más organismos que recursos que les permitan mantenerse con vida, se produce entre los distintos organismos una lucha por la subsistencia. Como consecuencia de esa lucha, solo aquellos que tienen rasgos más óptimos, que les permiten acaparar recursos, sobreviven y se reproducen, transmitiendo dichas características a sus descendientes. En cambio aquellos que no tienen esos rasgos, perecen. De esta manera la naturaleza ejerce una presión sobre los organismos, seleccionando aquellos que poseen rasgos cada vez más ajustados a su entorno, que les permiten tener acceso a los recursos necesarios para la supervivencia. Así, la Teoría de la evolución por selección natural permitió a Darwin explicar los fenómenos planteados por varios de los teólogos naturales vistos en el apartado 2.2; entre ellos, la adaptación y la diversidad. Asimismo, la tesis darwiniana del ancestro común permitió dar una nueva interpretación a las homologías halladas en el registro fósil y a la clasificación en géneros y especies ofrecida por Linneo. Por último, en el apartado 2.4 revisamos algunas de las consecuencias filosóficas que acarrió el planteo de Darwin, tanto en la concepción del hombre, como en cuanto al tipo de explicación que es posible y deseable elaborar en la Ciencia.

En el próximo capítulo, abordaremos algunas nociones básicas de lógica que, junto con los desarrollos ofrecidos en este, nos permitirán aproximarnos con mayor profundidad a algunas de las propuestas epistemológicas más significativas del siglo XX en los capítulos III y IV.

Para ampliar

Con el fin de enriquecer las ideas presentadas en la primera parte, La Revolución copernicana, pueden consultar un excelente y clásico texto de historia de la Astronomía:

TOULMIN, STEPHEN y Goodfield, June (1963), *La trama de los cielos*, Buenos Aires, Eudeba.

Además, para conocer aspectos aquí no discutidos sobre la cosmología contemporánea, previa y posterior al período estudiado, cuentan con una entretenida y erudita obra:

RIOJA, ANA y Ordóñez, Javier (2006), *Teorías del universo* (Vols. II y III), Madrid, Editorial Síntesis.

En relación con los contenidos de la segunda parte, La revolución darwiniana, existen varios libros muy buenos y de simple lectura sobre biología evolutiva. Son particularmente interesantes los escritos por Stephen Jay Gould:

- El pulgar del panda* (1980), Barcelona, Crítica;
- *La vida maravillosa* (1989), Barcelona, Crítica;
- La sonrisa del flamenco* (1985), Barcelona, Crítica;
- Un dinosaurio en un pajar* (1995), Barcelona, Crítica;
- Ocho cerditos* (1993), Barcelona, Crítica;
- Acabo de llegar* (2002), Barcelona, Planeta; etc.

También, es recomendable el famoso texto de Richard Dawkins (1993, [1976]), *El gen egoísta*, Barcelona, Salvat Editores.

Se puede acceder a todos los textos escritos por Darwin en <http://darwin-online.org.uk>.

La bibliografía sobre Darwin es numerosísima, incluso en castellano. Algunos textos aconsejables son: de Michael Ruse (2008), *Charles Darwin*, Buenos Aires, Katz Editores; de Niles Eldredge (2009), *Darwin*, Buenos Aires, Katz Editores; de Janet Browne (2006), *La historia del origen de las especies de Charles Darwin*, Bogotá, Debate.

Bibliografía

Primera Parte

ARISTÓTELES (1952) *The Works of Aristotle* (Vol. I), Oxford, Clarendon Press, [Edición de W. D. Ross]: Part A. Physics (*Physica*); Part B. On the Heavens (*De caelo*), Part C. On the Generation and Corruption (*De Generatione et Corruptione*).

ARISTÓTELES (1990), *Metafísica*, Madrid, Gredos, [Edición de V. García Yebra].

NEWTON, ISAAC (2004) [1692-3], *Philosophical writings*, Cambridge, Cambridge University Press.

CARMAN, CHRISTIAN (2011), El mecanismo de Anticitera. Una computadora astronómica analógica de la antigüedad, en *Ciencia Hoy*, 21 (nº123, pp. 29-34). Disponible en: <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy123/Anticitera.pdf>

COHEN, I. BERNARD (1989), *El nacimiento de la nueva física*, Madrid, Alianza.

COPÉRNICO, NICOLÁS (1997 [1543]), *Sobre las revoluciones*, Barcelona, Altaya.

EVANS, JAMES; Carman, Christian C. y Thorndike, Alan S. (2010), Solar Anomaly and Planetary Displays in the Antikythera Mechanism, *Journal for the History of Astronomy*, XLI (pp. 1-39).

KOYRÉ, ALEXANDRE (1980 [1966]), *Estudios Galileanos*, Madrid, Siglo XXI.

KUHN, THOMAS S. (1978), *La Revolución Copernicana*, Barcelona, Ariel.

RIOJA, ANA y Ordóñez, Javier (1999), *Teorías del Universo. De los pitagóricos a Galileo* (Vol. I), Madrid, Síntesis.

Segunda Parte

BOWLER, PETER J. y Morus, Iwan Rhys (2005), *Panorama general de la ciencia moderna*, Barcelona, Crítica.

DARWIN, CHARLES (1859), *On the origin of species by means of natural selection*, London, John Murray.

DARWIN, CHARLES (1992, [1872]), *El origen de las especies* (6ª. ed.), Barcelona, Planeta Agostini.

DARWIN, CHARLES (2009, [1871]), *El origen del hombre*, Barcelona, Crítica.

DAWKINS, RICHARD (1986). *The Blind Watchmaker: Why the evidence of evolution reveals a universe without design*, New York, W.W. Norton.

DENNET, DANIEL (1995), *Darwin's Dangerous Idea. Evolution and the Meanings of Life*, Touchstone, Simon and Shuster, Nueva York.

- GALILEI, GALILEO (1990), *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*, Madrid, Alianza.
- GOULD, STEPHEN JAY (2002), *Acabo de llegar*, Barcelona, Crítica.
- HUME, DAVID (1779), *Dialogues Concerning Natural Religion*, London.
- LAMARK, JEAN-BAPTISTE (1809), *Philosophie Zoologic*, Paris.
- MAYR, ERNST (1959), Darwin And The Evolutionary Theory In Biology, en Meggers, Betty J. (Ed.) *Evolution And Antrophology: A Centennial Appraisal*, The Anthropological Society of Washington, Washington D. C.
- PALEY, WILLIAM (1802), *Natural Theology*, London, Rivington.
- RUSE, MICHAEL, (1983, [1979]), *La revolución Darwinista*, Madrid, Alianza Universidad.
- SOBER, ELLIOT (2009), ¿Escribió Darwin el "Origen" al revés?, *Teorema: Revista Internacional de Filosofía* (Vol. XXVIII, N°2).

Capítulo II

NOCIONES BÁSICAS DE LÓGICA

Introducción

En el capítulo anterior presentamos las revoluciones, copernicana y darwiniana. En este capítulo, presentaremos una introducción a la lógica y, en particular, a la lógica proposicional simbólica. El término “lógica” es usado con diferentes sentidos, en distintos contextos. En la vida cotidiana se lo suele utilizar con el sentido de “razonable”, en afirmaciones como, por ejemplo, “Es lógico que estés nervioso, si estás empezando un nuevo trabajo”.

En tanto disciplina, la lógica estudia los razonamientos. Cabe aclarar que no se trata del estudio de cómo se realiza el proceso del razonamiento en tanto proceso de naturaleza psicológica. Dicho de otro modo, la lógica no se ocupa de estudiar las características psicológicas de los procesos mentales de razonamiento, sino cuándo un razonamiento es “correcto”. Qué entiende la lógica por razonamiento y específicamente por razonamientos correctos será el tema de este capítulo, así como qué propiedades de los razonamientos estudia la lógica y cómo los clasifica. También, presentaremos algunos de los procedimientos que desarrolla la lógica denominada proposicional simbólica para su análisis.

1. Razonamientos

Un razonamiento es un conjunto de proposiciones (dos o más) en el que se pretende que una de ellas, llamada “conclusión”, esté fundada en las otras, llamadas “premisas”. Las premisas proporcionan los elementos de juicio sobre los cuales se afirma la conclusión.

Por ejemplo, si no podemos recordar quién escribió *El sueño de los héroes*, si Borges o Bioy Casares, pero estamos seguros de que fue alguno de los dos, y alguno de nosotros afirma que Borges no lo escribió (podría, por ejemplo, recordar que Borges no escribió ninguna novela y que *El sueño de los héroes* es una novela, de modo que no puede haber sido escrita por Borges), entonces podemos inferir con seguridad que lo tiene que haber escrito Bioy Casares.

Si simplificamos el razonamiento (quitando la explicación de cómo llegamos a afirmar que Borges no escribió *El sueño de los héroes*), quedaría algo así:

El sueño de los héroes fue escrito por Borges o por Bioy Casares.

Borges no lo escribió.

Por lo tanto, tiene que haber sido escrito por Bioy Casares.

Para comenzar con el análisis de los razonamientos, es preciso introducir ciertas nociones con las que trabaja la lógica. Llamaremos “proposiciones” a lo que las oraciones expresan. Por ejemplo, la oración “Borges escribió *Ficciones*” es distinta de la oración “*Ficciones* fue escrito por Borges”. La primera está en voz activa mientras que la segunda está en voz pasiva. No nos interesan aquí estas diferencias, sino algo que ambas oraciones tienen en común. Diremos que ambas oraciones “expresan la misma proposición”. Al identificar proposiciones, además, debemos reponer aquello que muchas veces en las oraciones se omite y se entiende por contexto (como los sujetos, que pueden ser tácitos, o los referentes

de los pronombres). Por ejemplo, en el razonamiento presentado, la oración “Borges no lo escribió” expresa la proposición “Borges no escribió *El sueño de los héroes*”.

Las proposiciones que dan apoyo a la conclusión son las “premisas” del razonamiento. Para marcar cuál es la conclusión en lógica, se la escribe debajo de una raya, como se muestra a continuación.

El sueño de los héroes fue escrito

por Borges o por Bioy Casares.

→ Premisa 1

Borges no escribió. *El sueño de los héroes*.

→ Premisa 2

Bioy Casares escribió.

→ Conclusión

El sueño de los héroes.

1.1. La noción de validez y una clasificación de los razonamientos

Existen distintos tipos de razonamientos. En el caso del ejemplo presentado en el apartado 1, si las premisas son verdaderas la conclusión tiene que ser verdadera. Si sabemos que *El sueño de los héroes* fue escrito por Borges o por Bioy Casares, y que no fue escrito por Borges, podemos inferir con total seguridad (deducir) que lo escribió Bioy Casares. Es decir, si la premisa “*El sueño de los héroes* fue escrito por Borges o por Bioy Casares” es verdadera, y la premisa “Borges no escribió *El sueño de los héroes*” también, la conclusión tiene que ser verdadera. ¿Podrían ser verdaderas las premisas y falsa la conclusión? Definitivamente no.

Si una de las premisas fuese falsa, la conclusión podría haber sido falsa. Por ejemplo, si de hecho *El sueño de los héroes* hubiese sido escrito por Cortázar, la Premisa 1 sería falsa y la conclusión, también. Pero si ambas

premisas son verdaderas, es decir, si es verdadero que “*El sueño de los héroes* fue escrito por Borges o por Bioy Casares” y que “Borges no escribió *El sueño de los héroes*”, la conclusión, “Bioy Casares escribió *El sueño de los héroes*” tiene que ser verdadera. En este tipo de razonamientos, si ambas premisas son verdaderas, la conclusión necesariamente también lo será. Si alguna de las premisas es falsa, la conclusión podría ser verdadera o falsa.

A este tipo de razonamientos se los llama “deductivos”. Los razonamientos deductivos son válidos, se caracterizan por transmitir la verdad de las premisas a la conclusión. Es decir que si sus premisas son verdaderas, la conclusión tiene que ser verdadera. Si alguna de las premisas es falsa, la conclusión puede ser verdadera o falsa.

El ejemplo presentado es un razonamiento válido. ¿Por qué? Se podría intentar justificar su validez de un modo informal, esto es, sin apelar a lenguajes artificiales ni a demostraciones técnicas, de la siguiente manera: si es verdadera una de dos alternativas, y no es la primera, necesariamente tiene que ser la segunda. Así, para justificar la validez de este caso no es necesario apelar a la literatura argentina ni a ningún hecho particular del mundo, no es necesario averiguar si de hecho Bioy Casares escribió *El sueño de los héroes* o no, sino que se debe analizar la forma del razonamiento. Para cualquier razonamiento, el análisis de su validez no depende de si sus premisas y conclusión son de hecho verdaderas en el mundo o no, sino de la relación de inferencia entre ellas, es decir, de si la verdad de las premisas garantiza la verdad de la conclusión o no. Esto depende de la forma del razonamiento.

La forma del razonamiento del ejemplo es la siguiente:

$$\begin{array}{l} A \text{ o } B \\ \text{No } A \\ \hline B \end{array}$$

Todos los razonamientos que tienen esta forma son válidos. Siempre que formulemos ejemplos de esta forma con premisas verdaderas, la conclusión tendrá que ser verdadera. Si se sustituye “A” y “B” por ejemplos de proposiciones de modo que por lo menos una de las premisas resulte falsa, la conclusión puede resultar verdadera o falsa. Por ejemplo, sustituyendo “A” por “Borges era ciego” y “B” por “Borges escribió *Ficciones*” obtenemos un ejemplo con una premisa falsa y conclusión verdadera. El razonamiento completo sería el siguiente:

Borges era ciego o escribió <i>Ficciones</i> .	→	esta premisa es verdadera, si entendemos la “o” como “y/o”
Borges no era ciego.	→	esta premisa es falsa
<hr/>		
Borges escribió <i>Ficciones</i> .	→	la conclusión es verdadera

En relación con la forma de razonamiento que venimos analizando, existen razonamientos que tienen:

- Premisas verdaderas y conclusión verdadera
- Al menos una de las premisas falsa y conclusión verdadera (como el anterior)
- Al menos una de las premisas falsa y conclusión falsa

Por las propiedades que tiene la forma de este razonamiento, nunca encontrarán un ejemplo de esta forma con ambas premisas verdaderas y conclusión falsa. Esto es así, precisamente, porque se trata de una forma de razonamiento válida.

A continuación presentamos un ejemplo de premisas falsas (o alguna falsa) y conclusión falsa:

Colombia está en Europa o en Asia.	→	esta premisa es falsa
Colombia no está en Europa.	→	esta premisa es verdadera
<hr/>		
Colombia está en Asia.	→	la conclusión es falsa

Los razonamientos válidos transmiten la verdad de las premisas a la conclusión, es decir que si sus premisas son verdaderas, la conclusión necesariamente será verdadera.

Un razonamiento que no transmite la verdad de las premisas a la conclusión, es decir, que puede tener premisas verdaderas y conclusión falsa, es inválido. Por ejemplo:

Colombia está en América  esta premisa es verdadera
del sur o en Asia.

Colombia está en Asia.  la conclusión es falsa

En este razonamiento de una sola premisa, la premisa es verdadera y la conclusión es falsa. Su forma es la siguiente:

$$\frac{A \vee B}{B}$$

Esta forma no garantiza la verdad de la conclusión, ya que puede haber casos en los que la premisa sea verdadera y la conclusión falsa. Si una forma de razonamiento puede llevar de verdad a falsedad, es inválida.

En función de si son válidos o no, se pueden clasificar los razonamientos en dos grandes grupos: los deductivos, que son válidos, y los no deductivos, que son inválidos. En los razonamientos deductivos si las premisas son verdaderas, la conclusión necesariamente será verdadera. El ejemplo de razonamiento sobre Borges y Bioy Casares, antes citado, entonces, es deductivo. En este tipo de razonamientos la verdad de las premisas garantiza la verdad de la conclusión. En los razonamientos no deductivos, en cambio, las premisas no brindan un apoyo absoluto a la conclusión, ya que, aunque las premisas sean verdaderas, la conclusión puede ser falsa. Algunos razonamientos de este tipo, sin embargo, resultan muy útiles, tanto en la vida cotidiana como en ciencia. En muchas de las inferencias que realizamos, las premisas brindan solo un apoyo parcial a la conclusión.

Por ejemplo:

Galileo arrojó una piedra de un kilo de la torre de Pisa y cayó con una aceleración de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Galileo arrojó una pelota de madera de 500 gramos de la torre de Pisa y cayó con una aceleración de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Galileo arrojó una pelota de madera de 800 gramos de la torre de Pisa y cayó con una aceleración de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Galileo arrojó un perro de 1 kilo y medio desde la torre de Pisa y cayó con una aceleración de $9,8 \text{ m/s}^2$.

(varios casos más)

Todos los objetos caen con una aceleración de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Por un razonamiento de este estilo, Galileo infirió esta conclusión (en realidad esto no es históricamente correcto porque al carecer de relojes adecuados, Galileo debía hacer experimentos más complejos, pero no nos importa para el ejemplo). El razonamiento mencionado no garantiza la verdad de la conclusión, es decir que esta última no se infiere con certeza de las premisas, ya que en la conclusión se hace referencia a todos los objetos existentes y que existirán, y las premisas se refieren solo a determinados casos particulares. La inferencia que va de un conjunto pequeño de casos a un conjunto de casos infinito o mayor al mencionado en las premisas no puede ser válida. Entonces, este razonamiento no asegura que la conclusión sea verdadera, pero de todos modos parece un razonamiento adecuado. Normalmente, en estos casos, se dice que las premisas incrementan la probabilidad de la conclusión. Es decir, que a mayor cantidad de casos observados, mayor será la probabilidad de que la conclusión sea verdadera, pero la conclusión no puede inferirse con total certeza a menos que se observen todos los casos (lo cual en el ejemplo dado es imposible)¹. A estos razonamientos en los que las premisas no garantizan la conclusión, pero brindan algún apoyo parcial a la misma se los llama “inductivos”. Estos razonamientos son inválidos, ya que

¹ La idea de que la cantidad de casos positivos observados aumenta la probabilidad de que la conclusión sea verdadera ha sido objeto de debate en filosofía de la ciencia. Presentaremos las distintas posturas al respecto en el capítulo III: *Conceptos, hipótesis y contrastación*.

la verdad de sus premisas no garantiza la verdad de la conclusión, es decir, puede darse el caso de que sus premisas sean verdaderas y su conclusión falsa. Por eso, cuando son adecuados, se los llama “correctos”.

El hecho de que un razonamiento sea correcto depende de varios factores. Algunos de ellos son la cantidad de casos observados, y el hecho de que la muestra sea representativa del total. Por ejemplo, en el caso del razonamiento de Galileo, en el que se pretende hacer una afirmación sobre todos los objetos, una muestra representativa implicaría variar en los materiales y los pesos de los objetos, si se tiraran solo pelotas de madera de 2 kg el razonamiento brindaría menos apoyo a la conclusión, pues la muestra no sería representativa. Esto implica que no se pueda examinar la adecuación de un razonamiento inductivo por el mero examen de la forma, a diferencia de lo que ocurre con los razonamientos deductivos. La lógica que estudia los razonamientos inductivos se llama “Lógica inductiva”. Los razonamientos inductivos, a diferencia de los deductivos, son ampliativos, es decir, agregan información en la conclusión que no estaba en las premisas. Esto es lo interesante de estos razonamientos, pero también es lo que los hace más débiles. Los razonamientos deductivos, por ser válidos, son más fuertes, pero a cambio de no agregar nueva información en la conclusión.

En síntesis, existen dos tipos de razonamientos, aquellos deductivos o válidos, en los que la conclusión es implicada lógicamente por las premisas, es decir, que si sus premisas son verdaderas la conclusión necesariamente es verdadera también; y aquellos no deductivos, que no garantizan la verdad de la conclusión. Entre los razonamientos no deductivos o inválidos se encuentran los inductivos, que, si bien no garantizan la verdad de la conclusión, permiten inferirla con cierta probabilidad. Así como hay distintos tipos de razonamientos, hay distintos tipos de lógicas que se dedican a estudiar cada uno de ellos. Las lógicas deductivas

se ocupan de los razonamientos deductivos, mientras que las lógicas inductivas se ocupan de los razonamientos inductivos.

Existen muchas lógicas deductivas (la más antigua de todas fue concebida por Aristóteles). En el punto 2 veremos una de ellas, la Lógica proposicional simbólica.

ACTIVIDAD 1

En el apartado 1 explicamos que, dependiendo de si son válidos o no, los razonamientos se pueden clasificar como deductivos o no deductivos. El objetivo de la actividad que proponemos a continuación es aplicar esa distinción a algunos razonamientos, a partir de un análisis informal. Para cada uno de los razonamientos:

- a. identifiquen las premisas y la conclusión;
- b. determinen si son razonamientos deductivos o no deductivos.

Los primeros dos enunciados se presentan resueltos a modo de ejemplo.

1. Si hay una crisis económica, sube el desempleo. Hay una crisis económica. Por lo tanto, sube el desempleo.

- a. En este caso la conclusión es: “Sube el desempleo”. Las premisas son “Si hay una crisis económica, sube el desempleo” y “Hay una crisis económica”.
- b. Se trata de un razonamiento deductivo, ya que, si las dos premisas son verdaderas, la conclusión también lo será. En este caso, las premisas brindan un apoyo definitivo a la conclusión. Si la primera premisa es verdadera, no puede pasar que haya una crisis económica y, a la vez, no suba el desempleo. Así, si es verdadero que en caso de una crisis económica sube el desempleo, y es verdadero que hay una crisis económica, entonces necesariamente sube el desempleo.

2. La mayoría de los humanos les tiene miedo a las víboras. Carlos es un humano. Por lo tanto, Carlos les tiene miedo a las víboras.

- a. En este caso la conclusión es: “Carlos les tiene miedo a las víboras”. Las premisas son “La mayoría de los humanos les tiene miedo a las víboras” y “Carlos es un humano”.
- b. Se trata de un razonamiento no deductivo, ya que puede ser que sus premisas sean verdaderas y, aún así, su conclusión falsa. Supongamos que es verdadero que la mayoría de los humanos les tiene miedo a las víboras y, también, es verdadero que Carlos es un humano. Esto no garantiza que la conclusión sea ver-

dadera, ya que Carlos podría no formar parte de la mayoría de los humanos que les teme a las víboras. Es decir que, en este caso, la verdad de las premisas no garantiza la verdad de la conclusión.

3. Doblo a la izquierda o a la derecha. No doblé a la izquierda. Por lo tanto, doblé a la derecha.

4. Si hay sequía, suben los precios de los productos agrícolas. Hay sequía. Por lo tanto, suben los precios de los productos agrícolas.

5. La mayoría de los humanos son diestros. Patricio es un humano, de modo que Patricio es diestro.

6. Algunos inviernos nieva en Buenos Aires. Podemos concluir entonces que este invierno nevará en Buenos Aires.

7. Si la temperatura desciende a 0°C entonces se forman cristales de hielo en la atmósfera. Si se forman cristales de hielo en la atmósfera, entonces nieva. De allí podemos concluir que si la temperatura desciende a 0°C , entonces nieva.

8. Coloco un tubo de cobre en un horno a 300° y observo que se expande. Coloco un anillo de oro en un horno a 300° y observo que se expande. Coloco una bombilla de acero en un horno a 300° y observo que se expande. De aquí se sigue que todos los metales se expanden con el calor.

2. Lógica proposicional simbólica

La lógica proposicional simbólica es una de las lógicas deductivas. Se llama proposicional porque toma como unidad mínima a la proposición simple. Hay dos tipos de proposiciones. Las simples (o atómicas) y las compuestas (o moleculares). Las simples son las que no tienen conectivas mientras que las compuestas se forman a partir de incluir conectivas en las simples. Las conectivas son expresiones lógicas que permiten formar proposiciones compuestas a partir de simples. Por ejemplo:

“Juan es dentista” es un ejemplo de proposición simple.

“Juan es pescador aficionado” es otro ejemplo de proposición simple.

“Juan es dentista y pescador aficionado” es una proposición

compuesta que se forma a partir de las proposiciones “Juan es dentista” y “Juan es pescador aficionado”, unidas con la conectiva “y”.

“Juan no es dentista” también es una proposición compuesta, ya que “no” es una conectiva.

Al trabajar con esta lógica, la unidad mínima es la proposición simple. Esto quiere decir que la estructura interna de las proposiciones simples no se analiza (no se analizan, por ejemplo, las propiedades lógicas que dependen de la estructura de sujeto y predicado de las oraciones). Así, identificaremos proposiciones simples y proposiciones compuestas y, en el caso de las proposiciones compuestas, analizaremos su estructura interna en función de las proposiciones simples y las conectivas lógicas que las conforman.

2.1. El lenguaje de la lógica proposicional simbólica

Uno de los objetivos de la lógica proposicional simbólica es determinar si los razonamientos son válidos o no, es decir, si transmiten o no la verdad de las premisas a la conclusión. Como presentamos en el apartado 1, los razonamientos son válidos si en caso que sus premisas sean verdaderas, la conclusión es necesariamente verdadera. En la lógica proposicional simbólica la validez de los razonamientos depende del significado de las conectivas. Por ejemplo, es posible deducir de “Juan es dentista y pescador aficionado” que “Juan es dentista” pero no es posible deducirlo de “Juan es dentista o pescador aficionado”. Así, el razonamiento “Juan es dentista y pescador aficionado, por lo tanto, Juan es dentista” es válido. No es posible que, siendo verdadera la premisa, es decir, siendo verdadero que Juan es dentista y pescador aficionado, sea falsa la conclusión, esto es, que Juan es dentista. En cambio, si la premisa fuera “Juan es dentista o pescador aficionado”, y la conclusión “Juan es dentista”, el

razonamiento sería inválido. Por más que esta premisa fuera verdadera, esta no garantiza la verdad de la conclusión. La diferencia entre estos razonamientos radica en la conectiva de la premisa. En el primer caso, es una “y” y, en el segundo, una “o”.

En este apartado presentaremos las conectivas principales. Las conectivas se definen por cómo resulta el valor de verdad de una proposición compuesta en la que figuran, dado cierto valor de verdad de las proposiciones simples. Por ejemplo, ¿en qué casos será verdadera la proposición “Juan es dentista y pescador aficionado”? Solo si es verdadero que Juan es dentista y es verdadero que Juan es pescador aficionado.

Al introducir cada una de las conectivas, presentaremos también los símbolos del lenguaje de la lógica. El lenguaje de la lógica proposicional simbólica es artificial, en el sentido de que es un lenguaje diseñado, en el cual se especifica un conjunto de signos y un conjunto de reglas que permitirán construir expresiones en ese lenguaje. El lenguaje de la lógica proposicional simbólica también es formal porque, para escribir la forma de las proposiciones, a cada conectiva se le asigna un símbolo, y a cada proposición simple una letra proposicional. Utilizaremos para esto último minúsculas de imprenta, empezando por la letra p : p , q , r , s , etc.

El uso de un lenguaje formal en lógica tiene determinadas ventajas. Permite, por un lado, eliminar las ambigüedades que presenta el lenguaje natural (el que usamos cotidianamente para comunicarnos) y, por otro lado, permite extraer la forma lógica de las proposiciones y de los razonamientos y escribirlas sin hacer referencia a los hechos particulares que se mencionan en cada proposición. Como presentamos en el apartado 1, la validez de los razonamientos no depende de si sus premisas y conclusión son de hecho verdaderas, sino de la forma del razonamiento, es decir, de si, dada una forma determinada, es posible que sus premisas

sean verdaderas y su conclusión falsa. Mediante un lenguaje formal, se facilita la abstracción y el análisis de la forma de los razonamientos.

A continuación, se presentan algunas de las conectivas principales y sus correspondientes símbolos.

2.1.1. Conjunción

Lo más parecido en el lenguaje natural (el que hablamos todos los días) a la conjunción lógica, es la “y”. Pero también cumplen esta función el “pero” y el “sin embargo”. En castellano el uso de “pero” y “sin embargo” incluye un matiz adversativo, por ejemplo, al afirmar “Había un embotellamiento, sin embargo, llegué temprano” o “Me invitaron a una fiesta, pero tengo que estudiar”. Sin embargo, al analizar la estructura lógica de estas oraciones, se representa su forma proposicional como una conjunción y el matiz adversativo no forma parte de la forma proposicional. Desde el punto de vista de la lógica proposicional simbólica, la oración “Había un embotellamiento, sin embargo, llegué temprano” expresa la conjunción de dos proposiciones simples, “hay un embotellamiento” y “llego temprano”. De la misma manera, la oración “Me invitaron a una fiesta, pero tengo que estudiar”, expresa una conjunción entre dos proposiciones, expresa la misma proposición que “Me invitaron a una fiesta y tengo que estudiar”.

Por otra parte, al extraer la forma lógica, también se omiten las diferencias en los tiempos verbales, y se considera que, por ejemplo, las oraciones “Llegué temprano”, “Llegaré temprano” y “Llego temprano” expresan la misma proposición.

Usaremos para la conjunción el símbolo “.”.

Por medio de la conjunción se unen dos proposiciones; por ejemplo, “A . B”.

Para escribir la forma lógica de las proposiciones, utilizaremos el lenguaje de la lógica proposicional simbólica. Para esto, como primer paso debemos especificar qué letra proposicional asignaremos a cada proposición simple. Llamaremos “diccionario” a la especificación de qué letra asignamos a cada proposición.

Por ejemplo, para la proposición “llueve y hace frío”, el diccionario será:

p : llueve

q : hace frío

Y la proposición se representa “ $p \cdot q$ ”.

Como se mencionó, las conectivas se definen por cómo resulta el valor de verdad de la proposición compuesta dado cierto valor de verdad de las proposiciones simples. Por ejemplo, ¿cuándo es verdadera la proposición “llueve y hace frío”? Cuando llueve y, además, hace frío. Si lloviera y no hiciese frío, o si no ocurriera ninguna de las dos cosas, la proposición sería falsa. Esto es lo que define a la conjunción, pues una conjunción solo es verdadera cuando las dos proposiciones que la forman son verdaderas.

Se suele presentar la definición de las conectivas utilizando una tabla de verdad que representa cuál es el valor de verdad de la proposición compuesta para cada posible combinación de valores de verdad de las proposiciones simples que la componen.

La tabla de verdad de la conjunción es la siguiente:

p	q	p	.	q
v	v	v	V	v
f	v	f	F	v
v	f	v	F	f
f	f	f	F	f

Esta tabla representa que cuando “ p ” es verdadera y “ q ” es verdadera, “ $p \cdot q$ ” es verdadera (primera fila). Cuando una de las dos es verdadera y la otra falsa, “ $p \cdot q$ ” es falsa (segunda fila y tercera fila). Y, cuando las dos son falsas, “ $p \cdot q$ ” es falsa (cuarta fila). Como se observa la tabla tiene cuatro filas. Esto se debe a que dichas filas reflejan todas las combinaciones posibles de valores de verdad entre dos proposiciones simples. Cada una de las filas de la tabla representa una de estas combinaciones. Puede ocurrir que las dos proposiciones seas verdaderas, que la primera sea falsa y la segunda verdadera, que la primera sea verdadera y la segunda falsa o que las dos sean falsas.

A continuación, presentamos en detalle la estructura de una tabla de verdad:

p	q	p	.	q	Qué representa cada fila:
v	v	v	V	v	→ p es v y q es v, la conjunción es V
f	v	f	F	v	→ p es f y q es v, la conjunción es F.
v	f	v	F	f	→ p es v y q es f, la conjunción es F.
f	f	f	F	f	→ p es f y q es f, la conjunción es F.

En las primeras columnas se representan los posibles valores de verdad de las proposiciones simples. Cada fila muestra una combinación posible. El uso de estas columnas es opcional, pueden escribirse directamente los valores de verdad debajo de cada letra proposicional, como se muestra en la 3ª y en la 5ª columna.

2.1.2. Disyunción inclusiva

Esta conectiva suele aparecer en lenguaje natural como “o” o “y/o”. El símbolo con que se representa es “ \vee ”.

La forma de “Llueve o hace frío”, según el diccionario:

p : llueve

q : hace frío

se representa “ $p \vee q$ ”. La tabla de verdad de la disyunción inclusiva es:

p	q	p	v	q
v	v	v	V	v
f	v	f	V	v
v	f	v	V	f
f	f	f	F	f

Una disyunción inclusiva es falsa solo si ambas proposiciones componentes son falsas.

Disyunción inclusiva y disyunción exclusiva

La disyunción puede usarse en lenguaje natural con dos significados distintos: el de la disyunción inclusiva o el de la disyunción exclusiva. La disyunción inclusiva, como se presentó en 2.1.2., es verdadera cuando una de las proposiciones alternativas es verdadera y cuando ambas son verdaderas. La disyunción exclusiva, en cambio, es verdadera solo en los casos en que una sola de las proposiciones alternativas es verdadera (pero no si las dos son verdaderas). En castellano ambas pueden expresarse con el mismo término “o”.

En la mayoría de los casos de uso de disyunción en lenguaje natural, el contexto permite determinar de qué tipo de disyunción se trata. Por ejemplo, si en un menú en un restaurante dice:

“Incluye plato principal y postre o café”, claramente se trata de una disyunción exclusiva, pues se entiende que el menú incluye postre o café, pero no ambos.

En cambio, si leemos en el subterráneo: “este asiento está reservado para embarazadas o discapacitados”, ¿qué ocurre si sube alguien que cumple con las dos condiciones? ¿Qué ocurre si sube una discapacitada embarazada? Por supuesto tendrá derecho a sentarse. En este caso, la “o” debe entenderse como inclusiva.

Para evitar esta ambigüedad, en algunos casos se especifican la disyunción inclusiva con “y/o” y la disyunción exclusiva con “o bien [...] o bien [...]”. En lógica se simbolizan con distintas conectivas, ya que tienen distinto significado.

Puesto que en las actividades de este capítulo, los ejemplos de proposiciones y razonamientos no se presentan con el contexto suficiente como para determinar si se trata de disyunciones inclusivas o exclusivas, establecemos por convención que se interpretarán todas las disyunciones como inclusivas. De modo que en este capítulo trabajaremos únicamente con la disyunción inclusiva, cuyo símbolo y tabla de verdad se presentaron en 2.1.2.

2.1.3. Negación

Esta conectiva en lenguaje natural equivale a “no”, pero también a “es falso que”, “nunca”, “no se da el caso que”, “no es cierto que”. El símbolo para representarla es “ \sim ”.

Por ejemplo, para la proposición “no llueve”, con el diccionario:

p : llueve

la forma es “ $\sim p$ ”.

Cabe destacar que la negación no une dos proposiciones, sino que es una conectiva que se agrega a una proposición para negarla. Por tal motivo, la tabla de verdad es más simple:

p	\sim	p
v	F	v
f	V	f

La negación lo que hace es invertir el valor de verdad de la proposición. Esto es, si “ p ” es verdadera, “ $\sim p$ ” es falsa (primera fila de la tabla), mientras que si “ p ” es falsa, “ $\sim p$ ” es verdadera.

2.1.4. Condicional

En el lenguaje natural, el condicional equivale a “si [...] entonces [...]”; y el símbolo para representarlo es “ \rightarrow ”.

Esta conectiva lógica establece una asimetría entre las proposiciones que conecta, que no cumplen la misma función dentro de la proposición condicional. En lógica, una de ellas cumple la función de “antecedente” y la otra, la función de “consecuente”. Por ejemplo, en:

“Si le cortaron la cabeza, entonces está muerto.”

el antecedente es “le cortaron la cabeza” y el consecuente es “está muerto”.

No es lo mismo decir:

“Si le cortaron la cabeza, entonces está muerto.”

que decir,

“Si está muerto, entonces le cortaron la cabeza.”

Estas dos oraciones expresan proposiciones distintas. En este ejemplo, la primera oración es verdadera, mientras que la segunda no lo es necesariamente, pues se puede estar muerto con la cabeza en su lugar.

Por esta razón, es importante distinguir las dos proposiciones que conecta el condicional en términos de antecedente y consecuente:

en “ $p \rightarrow q$ ”, p es el antecedente y q es el consecuente.

¿Qué expresa la oración “Si le cortaron la cabeza, entonces está muerto”?

Si la proposición expresada por esa oración es verdadera, no puede ocurrir que le corten la cabeza y siga vivo. Es decir que no puede ocurrir que el antecedente sea verdadero y el consecuente falso. Por este motivo, la tabla de verdad del condicional es la siguiente:

p	q	p	\rightarrow	q
v	v	v	V	v
f	v	f	V	v
v	f	v	F	f
f	f	f	V	f

Como se muestra en la tabla de verdad, una proposición condicional es falsa si su antecedente es verdadero y su consecuente falso. En cualquier otro caso, es verdadera.

Hay distintos modos de expresar el condicional en castellano. Por ejemplo, las tres oraciones que se presentan a continuación expresan la misma proposición:

“Si llueve, entonces hace frío”.

“Si llueve, hace frío”.

“Hace frío si llueve”.

Las tres expresan la misma proposición porque todas expresan una proposición condicional que tiene como antecedente la proposición “llueve” y como consecuente la proposición “hace frío”. ¿Cómo sabemos cuál es el antecedente y cuál el consecuente? Por el uso de “si” para señalar al antecedente. El antecedente es el que está después del “si”, y no necesariamente aparece primero en las oraciones en lenguaje natural.

Con este diccionario:

p : llueve

q : hace frío

La forma proposicional de todas estas oraciones anteriores sería “ $p \rightarrow q$ ”.

En cambio, “Hace frío, entonces llueve” expresa otra proposición, ya que tiene a “hace frío” como antecedente y a “llueve” como consecuente. Con el mismo diccionario, su forma proposicional sería “ $q \rightarrow p$ ”.

2.1.5. Bicondicional

En lenguaje natural, el bicondicional no es utilizado frecuentemente. En matemática suele aparecer como “si y solo si” y sirve para dar definiciones. El símbolo es “ \leftrightarrow ”.

La tabla de verdad de esta conectiva se representa de la siguiente manera:

p	q	p	\leftrightarrow	q
v	v	v	V	v
f	v	f	F	v
v	f	v	F	f
f	f	f	V	f

Por ejemplo, para la oración “Una figura es un triángulo si y solo si posee tres lados”, con el diccionario:

p : la figura es un triángulo

q : la figura tiene tres lados

la forma proposicional es “ $p \leftrightarrow q$ ”.

2.2. Las formas proposicionales

Para probar la validez de un razonamiento, es necesario extraer su forma lógica, es decir, partiendo de un ejemplo de razonamiento en lenguaje natural, es necesario representar su forma en el lenguaje de la lógica proposicional. El primer paso consiste en extraer la forma de las proposiciones que conforman el razonamiento. Esta tarea puede ser compleja, pero trabajaremos con ejemplos sencillos.

Comencemos con algunos casos. La tabla que se presenta a continuación extrae la forma de una serie de proposiciones. Analizaremos cada una de ellas, utilizando el siguiente diccionario:

p : llueve

q : hace frío

r : hay nubes

	Proposición	Forma	Observaciones
1	No llueve y hace frío	$\sim p \cdot q$	En este caso la negación afecta solo a p .
2	No es cierto que llueva y haga frío	$\sim (p \cdot q)$	La conectiva principal es la negación. Se niega una conjunción (que llueva y hace frío).
3	Ni llueve ni hace frío	$\sim p \cdot \sim q$	“ni [...] ni [...]” equivale a “no [...] y no [...]”.
4	Si llueve y hay nubes, entonces hace frío	$(p \cdot r) \rightarrow q$	La conectiva principal es el condicional. El antecedente es una proposición compuesta, es una conjunción.
5	Llueve y si hace frío entonces hay nubes	$p \cdot (q \rightarrow r)$	La conectiva principal es la conjunción.
6	Llueve, hace frío y hay nubes	$(p \cdot q) \cdot r$ o $p \cdot (q \cdot r)$	
7	Llueve, hace frío o hay nubes	$(p \vee q) \vee r$ o $p \vee (q \vee r)$	
8	Llueve o hace frío, pero hay nubes	$(p \vee q) \cdot r$	La conectiva principal es la conjunción.
9	Llueve o no, pero hace frío	$(p \vee \sim p) \cdot q$	La conectiva principal es la conjunción.

Observen que el significado cambia rotundamente en todos los casos de acuerdo con la colocación de los paréntesis, excepto en el sexto y en el séptimo. Cuando hay varias conjunciones (“ \cdot ”) o disyunciones (“ \vee ”) seguidas, es posible asociarlas con paréntesis de diversos modos sin modificar el valor de verdad de la proposición compuesta. No se da la misma situación con combinaciones de conjunciones y disyunciones.

En todos los casos, como primer paso, antes de extraer una forma, hay que confeccionar el diccionario donde se indica cómo se utilizará cada

letra proposicional (p , q , r , etc.). Allí se explicita qué letra proposicional se le asigna a cada proposición simple, nunca se anota una conectiva. La disposición de las letras que simbolizan las formas proposicionales puede variar de acuerdo con el diccionario que se haya elegido.

ACTIVIDAD 2

En el apartado 2.1 se presentó el lenguaje de la lógica proposicional simbólica y en el 2.2 cómo extraer la forma lógica de las proposiciones. Esta actividad propone aplicar lo presentado en 2.1 y en 2.2. Para cada una de las siguientes proposiciones:

- Indiquen si es simple o compuesta. En caso de ser compuesta, señalen la conectiva principal.
- Extraigan la forma lógica de la proposición. Para esto, no olviden primero confeccionar el diccionario.

Los primeros cuatro enunciados se presentan resueltos a modo de ejemplo.

1. Galileo observó con su telescopio que la luna tenía cráteres.

- Se trata de una proposición simple, ya que no tiene conectivas lógicas.
- El diccionario para este ejemplo es:

p : Galileo observó con su telescopio que la luna tenía cráteres

Y la forma lógica es:

p

2. Kepler inventó el telescopio y propuso que los planetas describen órbitas elípticas.

- Esta oración expresa una proposición compuesta, ya que es una conjunción de dos proposiciones simples: “Kepler inventó el telescopio” y “Kepler propuso que los planetas describen órbitas elípticas”.

Observen que cada una de estas proposiciones simples puede tener un valor de verdad independiente de la otra. En este caso, es falso que Kepler inventó el telescopio, pero es verdad que propuso que los planetas describen órbitas elípticas.

- El diccionario para este ejemplo es:

p : Kepler inventó el telescopio

q : Kepler propuso que los planetas describen órbitas elípticas

Y la forma lógica es:

$$p \cdot q$$

3. Si mañana es feriado, entonces no programo el despertador.

a. Esta proposición es compuesta, ya que se encuentra constituida por más de una proposición y de una conectiva lógica. La conectiva principal es el condicional, que conecta el antecedente, “mañana es feriado”, con el consecuente –“no programo el despertador”. El consecuente es, a su vez, una proposición compuesta, ya que es una negación de “programo el despertador”.

b. El diccionario para este ejemplo es:

p : mañana es feriado

q : programo el despertador

Y la forma lógica es:

$$p \rightarrow \sim q$$

4. Si llueve o nieva, no salimos.

a. Se trata de una proposición compuesta. La conectiva principal es el condicional, y en el lenguaje natural lo reconocemos por la expresión “si”. En este ejemplo, la coma está en lugar del “entonces”. De modo que “llueve o nieva” es el antecedente y “no salimos” es el consecuente.

Tanto el antecedente como el consecuente son, a su vez, proposiciones compuestas. El antecedente es una disyunción –“llueve o nieva”– y el consecuente una negación –“no salimos”.

b. El diccionario para este ejemplo es:

p : llueve

q : nieva

r : salimos

y la forma lógica es:

$$(p \vee q) \rightarrow \sim r$$

Observen que, en este caso, es necesario utilizar paréntesis para señalar que el antecedente es la disyunción. Sin los paréntesis, no quedaría claro exactamente qué proposiciones une cada conectiva.

5. La Luna orbita alrededor de la Tierra.

6. Júpiter tiene satélites.

7. La Luna orbita alrededor de la Tierra y Júpiter tiene satélites.
8. Los pulpos tienen ocho brazos y pueden cambiar el color de su piel.
9. Vamos en subte o en colectivo.
10. Juan es actor.
11. Juan no es famoso.
12. Juan es actor y no es famoso.
13. Si llueve, entonces se suspende el partido.
14. Si no llueve, riego el pasto.
15. Voy al cine o al teatro.
16. Si tengo tiempo, voy al cine o al teatro.
17. Si un elefante ve un ratón o se asusta, entonces corre.
18. Inauguran en enero, si terminan la obra a tiempo y consiguen la habilitación.
19. Una figura es un cuadrilátero si y solo si sus ángulos interiores suman 360° .
20. Francia está en Asia o en África.
21. No es cierto que Francia está en Asia o en África.
22. Si Newton unificó en una única teoría los hallazgos de Copérnico, Galileo y Kepler entonces el sol es el centro del sistema solar, la luna tiene cráteres y los planetas describen órbitas elípticas.
23. No llueve ni nieva.
24. No es cierto que si no sentimos el movimiento de la Tierra, entonces la Tierra está en reposo.

2.3. Las formas de los razonamientos

Como presentamos en el apartado 1, **los razonamientos son conjuntos de proposiciones**. La extracción de la forma lógica de los razonamientos combina tareas presentadas en los apartados 1 y 2. Primero, debemos determinar la estructura de premisas y conclusión del razonamiento, es decir que debemos identificar cuáles son las premisas (o la premisa, recuerden que puede haber razonamientos con una única premisa) y cuál es la conclusión. Luego se confecciona el diccionario, identificando las proposiciones atómicas, y por último se extraen las formas proposicionales de la/s premisa/s y de la conclusión.

Existen ciertas expresiones en los razonamientos presentados en lenguaje natural que sirven de indicadores de lo que funciona como conclusión y como premisa. Por ejemplo, las expresiones “por lo tanto”, “en consecuencia”, “por consiguiente”, se encuentran precedidas por premisas y anteceden a la conclusión. Otras expresiones como “dado que”, “ya que” o “porque” funcionan del modo inverso: antes que ellas se encuentra la conclusión y, después, las premisas. Veamos un ejemplo:

“Si la Argentina se encuentra en América del Sur, entonces se encuentra en el hemisferio sur. Por lo tanto, la Argentina se encuentra en el hemisferio sur, dado que se encuentra en América del Sur.”

En este caso, la conclusión es “la Argentina se encuentra en el hemisferio sur”. ¿Cómo nos damos cuenta? La expresión “por lo tanto” indica que lo anterior es una premisa y lo que sigue la conclusión. Y en este caso, también se usa la expresión “dado que” para señalar que lo que sigue es otra premisa. Podemos escribir el razonamiento encolumnado del siguiente modo:

Si la Argentina se encuentra en América del Sur,	→	Premisa 1
entonces se encuentra en el hemisferio sur.		
La Argentina se encuentra en América del Sur.	→	Premisa 2
<hr/>		
La Argentina se encuentra en el hemisferio sur.	→	Conclusión

Observen que en la reconstrucción del razonamiento, no aparece “por lo tanto”. En su lugar, está la línea que separa las premisas de la conclusión. Tampoco aparece “dado que”, sino que directamente ubicamos la proposición que le sigue como la premisa dos. Esas dos expresiones no forman parte propiamente de las premisas ni de la conclusión, sino que sirven para conectarlas en el lenguaje natural.

A continuación, confeccionamos el diccionario:

p : la Argentina se encuentra en América del Sur

q : la Argentina se encuentra en el hemisferio sur

La forma del razonamiento es la siguiente:

$$\frac{p \rightarrow q \quad p}{q}$$

ACTIVIDAD 3

El objetivo de esta actividad es poner en práctica lo visto en el apartado 2.3. Dados los razonamientos, resuelvan las siguientes consignas:

- Escriban el razonamiento encolumnado como se muestra en los ejemplos, identificando cada una de las premisas y la conclusión.
- Extraigan la forma lógica del razonamiento, indicando el diccionario utilizado.

Los dos primeros enunciados se presentan resueltos a modo de ejemplo.

1. Si el sistema ptolemaico es correcto, entonces Júpiter no tiene satélites.
Júpiter tiene satélites. Por lo tanto, el sistema ptolemaico no es correcto.

- La expresión “por lo tanto” es la que relaciona las premisas y la conclusión. Las oraciones que figuran antes expresan las premisas y la que figura después expresa la conclusión. Las premisas y conclusión son las siguientes:

Si el sistema ptolemaico es correcto,
entonces Júpiter no tiene satélites.
Júpiter tiene satélites.



Premisa 1



Premisa 2

El sistema ptolemaico no es correcto.



Conclusión

- Para extraer la forma del razonamiento, en primer lugar, se identifican las proposiciones simples y se elabora un diccionario. En este caso, las proposiciones simples son dos:

p : el sistema ptolemaico es correcto

q : Júpiter tiene satélites

La forma lógica es:

$$\frac{\begin{array}{l} p \rightarrow \sim q \\ q \end{array}}{\sim p}$$

2. Si Antonio se va de vacaciones, entonces Gerardo trabaja horas extras o el proyecto se atrasa. Antonio se va de vacaciones pero el proyecto no se atrasa. De modo que Gerardo trabaja horas extras.

a. La expresión “de modo que” es la que relaciona las premisas y la conclusión. Las oraciones que figuran antes expresan las premisas y la que figura después expresa la conclusión. Las premisas y conclusión son las siguientes:

Si Antonio se va de vacaciones, entonces	
Gerardo trabaja horas extras o el proyecto se atrasa.	→ Premisa 1
Antonio se va de vacaciones pero el proyecto	
no se atrasa.	→ Premisa 2
<hr/>	
Gerardo trabaja horas extras.	→ Conclusión

b. En este caso, las proposiciones simples son tres. El diccionario es el siguiente:

p : Antonio se va de vacaciones
 q : Gerardo trabaja horas extras
 r : el proyecto se atrasa

Para extraer la forma lógica, recuerden que “pero” expresa una conjunción. La forma lógica es:

$$\frac{\begin{array}{l} p \rightarrow (q \vee r) \\ p \cdot \sim r \end{array}}{q}$$

3. Laura es periodista y trabaja en una radio. Por lo tanto, Laura trabaja en una radio.

4. Guadalupe estudia inglés o francés. No estudia francés. Por lo tanto, Guadalupe estudia inglés.

5. Los murciélagos utilizan la vista o el oído para orientarse. No utilizan la vista. De modo que utilizan el oído para orientarse.

6. Si la Tierra describiese una órbita alrededor del Sol, entonces debería observarse un ligero cambio periódico en la posición de una estrella cualquiera con respecto a

la esfera estelar. Se observa un ligero cambio periódico en la posición de una estrella cualquiera con respecto a la esfera estelar. De manera que la Tierra describe una órbita alrededor del Sol.

7. Si los caracteres adquiridos son heredables por la descendencia, entonces Lamarck tenía razón. Lamarck no tenía razón. De modo que los caracteres adquiridos no son heredables por la descendencia.

8. Subieron los precios de los productos agrícolas. Ya que si hay sequía, suben los precios de los productos agrícolas. Y hubo sequía.

9. La Tierra no se mueve, pues si la Tierra se moviera entonces los cuerpos serían despedidos de la superficie de la Tierra. Pero los cuerpos no son despedidos de la superficie de la Tierra.

10. Si no hace frío, entonces dejo las ventanas abiertas. Si dejo las ventanas abiertas, llega mucho ruido de la calle. Podemos concluir que si no hace frío, entonces llega mucho ruido de la calle.

11. Dejo las ventanas abiertas si y solo si no llueve. Llueve, por lo tanto, no dejo las ventanas abiertas.

12. Si París es la capital de España, entonces París está en Europa y está en el hemisferio norte. París no es la capital de España. Por lo tanto, no es cierto que París está en Europa y está en el hemisferio norte.

2.4. Tablas de verdad con más de una conectiva

Del mismo modo que podemos averiguar el valor de verdad de la proposición “ $p \cdot q$ ” cuando “ p ” es verdadera y “ q ” es falsa utilizando la tabla de verdad que define la conjunción, también se puede averiguar el valor de verdad de las proposiciones más complejas usando dichas tablas. Será necesario entonces tomar en cuenta la presencia y ubicación de los paréntesis.

Por ejemplo, noten que la proposición “llueve o hace frío, y no hay nubes” es distinta a la proposición “llueve, o hace frío y no hay nubes”.

Al utilizar el siguiente diccionario:

p : llueve

q : hace frío

r : hay nubes

la proposición “llueve o hace frío, y no hay nubes”, toma esta forma proposicional:

$$(p \vee q) \cdot \sim r$$

Mientras que la proposición “llueve, o hace frío y no hay nubes”, toma esta otra forma:

$$p \vee (q \cdot \sim r)$$

Ahora bien, para confeccionar la tabla de verdad de “ $(p \vee q) \cdot \sim r$ ”, se seguirán tres pasos, que mencionamos a continuación.

Primer paso

Se identifica la cantidad de proposiciones simples que aparecen. En el ejemplo que se está analizando hay tres: p , q y r .

Resulta irrelevante si alguna proposición aparece dos o tres veces. La tarea consiste en identificar esas proposiciones simples o atómicas independientemente de su cantidad de apariciones (por ejemplo, en la proposición “ $p \cdot \sim p$ ” hay una sola proposición simple: “ p ”).

Segundo paso

Si hay solo una proposición, la tabla de verdad tendrá únicamente 2 filas; si aparecen dos proposiciones, tendrá 4 filas; si aparecen tres, tendrá 8; si aparecen cuatro, tendrá 16, y así sucesivamente. La regla para determinar la cantidad de filas necesarias es la siguiente: 2^n , donde n es la cantidad de proposiciones simples que aparecen.

Una vez que se haya determinado la cantidad de filas de la tabla, se distribuyen los valores de verdad tal como se muestra en las tablas más abajo

(el objetivo es encontrar fácilmente todas las combinaciones posibles).

A continuación, se presenta la asignación de los valores de verdad a las proposiciones simples para casos de una, dos y tres proposiciones simples, respectivamente:

Asignación de valores de verdad para tablas con una sola proposición simple:

p
v
f

Asignación de valores de verdad para tablas con dos proposiciones simples:

p	q
v	v
f	v
v	f
f	f

Asignación de valores de verdad para tablas con tres proposiciones simples:

p	q	r
v	v	v
f	v	v
v	f	v
f	f	v
v	v	f
f	v	f
v	f	f
f	f	f

Tercer paso

Para completar la tabla se debe respetar la estructura de las proposiciones compuestas.

Se comienza, al igual que en matemática, dando prioridad a los paréntesis, luego a los corchetes y después a las llaves (si los hubiera) y, por último, al resto de la forma proposicional.

Se completa la tabla de verdad utilizando las definiciones de las conectivas para analizar, en primer lugar, los paréntesis más internos. A continuación, se presenta a modo de ejemplo la tabla de verdad de la proposición “ $(p \vee q) \cdot \sim r$ ”, detallando su correspondiente procedimiento.

Dado que la proposición “ $(p \vee q) \cdot \sim r$ ” tiene tres proposiciones simples, armamos una tabla de verdad de 8 filas y distribuimos los valores de verdad de las proposiciones simples tal como se mostró en el segundo paso, es decir, completamos los valores para cada proposición simple en las primeras columnas y los copiamos para cada una de sus apariciones en la proposición compuesta.

p	q	r	(p	v	q)	.	~	r
v	v	v	v		v			v
f	v	v	f		v			v
v	f	v	v		f			v
f	f	v	f		f			v
v	v	f	v		v			f
f	v	f	f		v			f
v	f	f	v		f			f
f	f	f	f		f			f

Para determinar el orden en el que completaremos los valores para cada conectiva, analicemos la estructura de la proposición. Se trata de una conjunción. En este caso, la conjunción conecta una disyunción –“ $(p \vee q)$ ”– y una negación –“ $\sim r$ ”.

Para poder resolver la conjunción, debemos primero obtener el valor de verdad de cada una de las proposiciones compuestas que conecta.

En la tabla de abajo, primero resolvemos la disyunción –“ $(p \vee q)$ ”.

Observamos que en la primera fila, la casilla marcada con un círculo corresponde al valor de verdad de “ $(p \vee q)$ ” cuando “p” es verdadera y “q” es verdadera. Si buscamos en la tabla de verdad de la disyunción inclusiva,

veremos que le corresponde verdadero. La disyunción es falsa solamente en los casos en los que ambas proposiciones son falsas, que es el caso de las filas 4 y 8 (marcadas con un cuadrado).

p	q	r	(p	v	q)	.	~	r
v	v	v	v	v	v			v
f	v	v	f	v	v			v
v	f	v	v	v	f			v
f	f	v	f	f	f			v
v	v	f	v	v	v			f
f	v	f	f	v	v			f
v	f	f	v	v	f			f
f	f	f	f	f	f			f

↓
Esta columna muestra el resultado de la disyunción.

Cuando en una tabla hay muchas conectivas, es importante observar qué valores de verdad se deben tener en cuenta para cada conectiva. Algo que se puede hacer para evitar confusiones es ir tachando los valores de las columnas que ya no va a ser necesario consultar. En este caso, podemos tachar las que consultamos para resolver la disyunción:

p	q	r	(p	v	q)	.	~	r
v	v	v	v	v	v			v
f	v	v	f	v	v			v
v	f	v	v	v	f			v
f	f	v	f	f	f			v
v	v	f	v	v	v			f
f	v	f	f	v	v			f
v	f	f	v	v	f			f
f	f	f	f	f	f			f

Luego resolvemos la negación de “r”. Recuerden que la negación invierte el valor de verdad de la proposición. Si “r” es verdadero, “~ r” es falso y viceversa.

p	q	r	(p	v	q)	.	~	r
v	v	v	v	v	v		f	v
f	v	v	f	v	v		f	v
v	f	v	v	v	f		f	v
f	f	v	f	f	f		f	v
v	v	f	v	v	v		v	f
f	v	f	f	v	v		v	f
v	f	f	v	v	f		v	f
f	f	f	f	f	f		v	f



Resultado de “ $\sim r$ ”

Como ya mencionamos, no se pueden obtener los valores de verdad de la conjunción sin antes haber resuelto la disyunción y la negación. Una vez que obtuvimos esos resultados, podemos resolver la conjunción.

Para resolver el primer valor de la conjunción, será necesario tener en cuenta qué valores de verdad se deben considerar en cada fila. Al averiguar el valor de la proposición general en la primera fila, marcada con un círculo en la tabla que sigue, fíjense que las proposiciones que están en conjunción son, por un lado, “ $p \vee q$ ” y, por el otro, “ $\sim r$ ”. El valor de verdad de dichas proposiciones en esa fila está señalado con cuadrados. Para resolver los valores de la conjunción, tomamos entonces los resultados de la disyunción “ $p \vee q$ ” y de la negación “ $\sim r$ ”. ¿Qué ocurre cuando una de las proposiciones de una conjunción es falsa (en este caso “ $\sim r$ ” es falsa)? La conjunción, también, es falsa.

Como verán, el resultado de la tabla de verdad está en mayúsculas. Se encuentra debajo de la conectiva principal de la proposición, es decir, aquella que se encuentra fuera de todo paréntesis.

p	q	r	(p	v	q)	.	~	r
v	v	v	v	v	v	F	f	v
f	v	v	f	v	v	F	f	v
v	f	v	v	v	f	F	f	v
f	f	v	f	f	f	F	f	v
v	v	f	v	v	v	V	v	f
f	v	f	f	v	v	V	v	f
v	f	f	v	v	f	V	v	f
f	f	f	f	f	f	F	v	f



Esta columna muestra el resultado de la conjunción para cada combinación. Representa el valor de verdad de la proposición general para cada caso y nos referiremos a ella como el **resultado de la tabla de verdad**.

En términos generales, podemos señalar una serie de pasos para resolver las tablas de verdad. Primero, debemos resolver:

- las negaciones de proposiciones atómicas (por ejemplo, “ $\sim r$ ”; “ $\sim q$ ”);
- las proposiciones contenidas por los paréntesis más internos (por ejemplo, “ $(p \cdot q)$ ”; “ $(p \vee q)$ ”; “ $(p \rightarrow q)$ ”).

Después, debemos pasar a las proposiciones contenidas por corchetes y luego por llaves, si hubiera.

La conectiva principal de una proposición siempre es la última que se resuelve.

ACTIVIDAD 4

Las tablas de verdad proporcionan una herramienta que permite determinar si un razonamiento es válido o no, como desarrollaremos en los apartados 2.5 y 2.6. La actividad que se presenta a continuación tiene por objetivo ejercitar la resolución de tablas de verdad.

Para poner en práctica lo visto en el apartado 2.4 y teniendo en cuenta las tablas de verdad de cada una de las conectivas vistas en el apartado 2.1, resuelvan las siguientes tablas de verdad:

1-

p	q	(p	→	q)	.	p
v	v					
f	v					
v	f					
f	f					

2-

p	q	(p	→	q)	.	~	p
v	v						
f	v						
v	f						
f	f						

3-

p	q	[(p	→	q)	.	p]	→	q
v	v							
f	v							
v	f							
f	f							

4-

p	q	[(p	→	q)	.	~	p]	→	~	q
v	v									
f	v									
v	f									
f	f									

2.5. Tautología, contradicción y contingencia

¿Para qué sirve hacer una tabla de verdad? Las tablas de verdad nos permiten determinar el valor de verdad que tendrá una proposición dadas todas las combinaciones posibles de valores de verdad de las proposiciones simples que la componen. En consecuencia, las tablas de verdad nos permiten distinguir entre verdades lógicas, falsedades

lógicas y proposiciones contingentes. La proposición “en Las Leñas está nevando” ¿es verdadera o falsa? Para averiguar su valor de verdad hay que buscar la información en el diario o llamar por teléfono a algún lugar y averiguar, es decir, hay que evaluar su valor de verdad en función de lo que sucede en el mundo. Pero, ¿qué pasa con la proposición “en Las Leñas está nevando o no está nevando”? ¿Podría ser falsa? No, y para saber esto solo es necesario observar su forma, no necesitamos saber cómo está el clima en Las Leñas. Veamos qué ocurre si hacemos la tabla de verdad, utilizando el siguiente diccionario:

p : está nevando en Las Leñas

La forma proposicional de este ejemplo es “ $p \vee \sim p$ ”.

p	p	v	\sim	p
v	v	V	f	v
f	f	V	v	f

El resultado de la tabla de verdad (indicado con letras mayúsculas), en este caso, es siempre verdadero. Es decir, asuman el valor que asuman las proposiciones simples, la proposición general siempre será verdadera. A este tipo de proposiciones se las llama “tautologías” o “verdades lógicas”.

Cuando todos los resultados son falsos, es decir, si para todas las combinaciones de valores de verdad de las proposiciones simples la proposición general resulta falsa, la proposición es una “contradicción” o “falsedad lógica”. Este es el caso de, por ejemplo, “ $p \cdot \sim p$ ”. En este último caso, sabemos que la proposición es falsa por su propia forma. A continuación, se muestra la tabla de verdad.

p	p	\cdot	\sim	p
v	v	F	f	v
f	f	F	v	f

Cuando para algunas combinaciones de valores de verdad de las proposiciones simples la proposición general resulta verdadera y para otras falsa, se trata de una “contingencia”. Esto ocurre, por ejemplo, con la proposición “ $(p \vee q) \cdot \sim r$ ” que analizamos más arriba, en el apartado 2.4. En estos casos, no es posible saber su valor de verdad por su forma. Esto sucede también con la proposición “en Las leñas está nevando”.

p : en Las leñas nieva

p
V
F

La tabla de verdad de una proposición simple es siempre una contingencia.

Una tautología es una proposición que es verdadera para todas las combinaciones posibles de valores de verdad de las proposiciones simples que contiene.

Una contradicción es una proposición que es falsa para todas las combinaciones posibles de valores de verdad de las proposiciones simples que contiene. Una contingencia es una proposición que es verdadera para algunas combinaciones posibles de valores de verdad de las proposiciones simples que contiene y falsa para otras.

2.6. Prueba de validez de razonamientos por condicional asociado

Como presentamos en el apartado 2.5, las tablas de verdad permiten determinar si una proposición es tautológica, contradictoria o contingente. Por esta característica, nos brindan un método para establecer la validez de los razonamientos, dado que permiten determinar si el condicional asociado a un razonamiento es tautológico, contradictorio o contingente. El condicional asociado de un razonamiento es el condicional que tiene como antece-

dente la conjunción de las premisas y como consecuente, la conclusión. A continuación, se presentan algunos ejemplos de formas de razonamientos y sus condicionales asociados.

Forma del razonamiento	Condicional asociado
$p \rightarrow q$ p <hr/> q	$[(p \rightarrow q) \cdot p] \rightarrow q$
$p \rightarrow q$ $q \rightarrow r$ <hr/> $p \rightarrow r$	$[(p \rightarrow q) \cdot (q \rightarrow r)] \rightarrow (p \rightarrow r)$
$p \vee q$ $\sim p$ <hr/> q	$[(p \vee q) \cdot \sim p] \rightarrow q$
$p \rightarrow \sim q$ $\sim q \rightarrow r$ p <hr/> r	$\{[(p \rightarrow \sim q) \cdot (\sim q \rightarrow r)] \cdot p\} \rightarrow r$ Recuerden que para escribir la conjunción de tres premisas, “(A . B) . C” es equivalente a “A . (B . C)”. Por esta razón, en este ejemplo, el condicional asociado también se puede expresar así: $\{(p \rightarrow \sim q) \cdot [(\sim q \rightarrow r) \cdot p]\} \rightarrow r$

Una vez establecido el condicional asociado se realiza su tabla de verdad. Si el condicional asociado resulta ser una tautología, entonces el razonamiento es válido. Analicemos por qué. Como presentamos, en la tabla de verdad del condicional, el único caso en el que es falso es aquel en el que el antecedente es verdadero y el consecuente falso. En el condicional asociado a un razonamiento, el antecedente es la conjunción de las premisas y el consecuente es la conclusión. Si la tabla de verdad del condicional asociado da por resultado una tautología, esto significa que el condicional no es falso en ningún caso. O sea que no hay ningún caso en esa tabla en el que el antecedente del condicional asociado sea verdadero y el consecuente falso. Esto quiere decir que no hay ningún caso en el que todas las premisas sean verdaderas y la conclusión falsa. Y recuerden que, como explicamos en el apartado 1, esta es precisamente una propiedad de los razonamientos válidos. Por eso siempre que el condicional asociado sea tautológico, el razonamiento es válido.

En cualquier otro caso, es decir, si el condicional asociado es contingente o contradictorio, el razonamiento es inválido. ¿Por qué? Porque para que haya algún caso en el que el condicional asociado sea falso, la conjunción de las premisas tiene que ser verdadera (o sea que todas las premisas tienen que ser verdaderas) y la conclusión tiene que ser falsa.

Los cuatro ejemplos que figuran en el cuadro anterior son formas de razonamientos válidas. Los condicionales asociados son todos tautológicos. En síntesis, **si el condicional asociado a un razonamiento es tautológico, ese razonamiento es válido. En cambio, si el condicional asociado es contradictorio o contingente, ese razonamiento es inválido.**

ACTIVIDAD 5

Tomen cada una de las formas de razonamiento a las que arribaron en la actividad 3 y apliquen el método del condicional asociado para evaluar si son válidas o no. A modo de ejemplo, les ofrecemos estas consignas resueltas para los dos primeros enunciados de la actividad 3.

1. Si el sistema ptolemaico es correcto, entonces Júpiter no tiene satélites. Júpiter tiene satélites. Por lo tanto, el sistema ptolemaico no es correcto. Como presentamos en la actividad 3, el razonamiento encolumnado es:

Si el sistema ptolemaico es correcto, entonces Júpiter no tiene satélites.	→	Premisa 1
Júpiter tiene satélites.	→	Premisa 2
<hr/>		
El sistema ptolemaico no es correcto.	→	Conclusión

Diccionario:

p : el sistema ptolemaico es correcto

q : Júpiter tiene satélites

Forma lógica:

$$\begin{array}{c} p \rightarrow \sim q \\ q \\ \hline \sim p \end{array}$$

a.El condicional asociado a este razonamiento es:

$$\underbrace{[(p \rightarrow \sim q) \cdot q]}_{\text{Antecedente: conjunción de las premisas}} \rightarrow \underbrace{\sim p}_{\text{Consecuente: conclusión}}$$

Antecedente: conjunción de las premisas Consecuente: conclusión


La tabla de verdad de este condicional tendrá 4 filas, ya que hay dos proposiciones simples:

p	q	[(p	→	~	q)	.	q]	→	~	p
v	v	v			v		v			v
f	v	f			v		v			f
v	f	v			f		f			v
f	f	f			f		f			f

Para poder resolver el condicional, primero debemos resolver el antecedente y el consecuente. En el antecedente la conectiva principal es una conjunción, que conecta al condicional entre paréntesis y a “q”. Entonces, para poder resolver el antecedente, primero debemos resolver el condicional que está entre paréntesis. Este condicional, tiene en su consecuente una negación.

De modo que lo primero que vamos a resolver es esa negación:

p	q	[(p	→	~	q)	.	q]	→	~	p
v	v	v		f	v		v			v
f	v	f		f	v		v			f
v	f	v		v	f		f			v
f	f	f		v	f		f			f

 Invertimos el valor de verdad de q en cada fila.

Cada vez que resolvemos una conectiva, podemos ir tachando los valores de las columnas que ya no va a ser necesario consultar. En este caso:

p	q	[(p	→	~	q)	.	q]	→	~	p
v	v	v		f	v		v			v
f	v	f		f	v		v			f
v	f	v		v	f		f			v
f	f	f		v	f		f			f

Una vez resuelta la negación, podemos resolver el condicional que está entre paréntesis, tomando como valores del antecedente los de p y como valores del consecuente los del resultado de la negación, indicados con flechas:

p	q	[(p	→	~	q)	.	q]	→	~	p
v	v	v	f	f	v		v			v
f	v	f	v	f	v		v			f
v	f	v	v	v	f		f			v
f	f	f	v	v	f		f			f

Valores del antecedente del condicional.
 Resultado del condicional entre paréntesis.
 Valores del consecuente del condicional.

Ahora, podemos resolver la conjunción entre corchetes, teniendo en cuenta, en cada fila, el resultado del condicional y el valor de q , señalados con flechas:

p	q	[(p	→	~	q)	.	q]	→	~	p
v	v	v	f	f	v	f	v			v
f	v	f	v	f	v	v	v			f
v	f	v	v	v	f	f	f			v
f	f	f	v	v	f	f	f			f

El resultado de la conjunción muestra el valor del antecedente del condicional principal para cada fila.

Con los valores de la conjunción, queda resuelto el antecedente. Para poder resolver el condicional principal, falta resolver la negación del consecuente:

p	q	[(p	→	~	q)	.	q]	→	~	p
v	v	v	f	f	v	f	v		f	v
f	v	f	v	f	v	v	v		v	f
v	f	v	v	v	f	f	f		f	v
f	f	f	v	v	f	f	f		v	f

Invertimos el valor de verdad de p para cada fila.

Por último, resolvemos el condicional principal, tomando como valor del antecedente el resultado del corchete y como valor del consecuente el resultado de “ $\sim p$ ”:

p	q	[(p	→	~	q)	.	q]	→	~	p
v	v	v	f	f	v	f	v	V	f	v
f	v	f	v	f	v	v	v	V	v	f
v	f	v	v	v	f	f	f	V	f	v
f	f	f	v	v	f	f	f	V	v	f

Valores del antecedente del condicional principal.

El resultado de la tabla muestra que el condicional es verdadero para todos los casos. Se trata de una tautología.

Valores del consecuente del condicional principal.

Esta forma de razonamiento es válida, ya que su tabla de verdad muestra una tautología.

2. Si Antonio se va de vacaciones, entonces Gerardo trabaja horas extras o el proyecto se atrasa. Antonio se va de vacaciones pero el proyecto no se atrasa. De modo que Gerardo trabaja horas extras.

Como presentamos en la actividad 3, este razonamiento encolumnado quedaría:

Si Antonio se va de vacaciones,	
entonces Gerardo trabaja horas extras	
o el proyecto se atrasa.	→ Premisa 1
Antonio se va de vacaciones pero	
el proyecto no se atrasa.	→ Premisa 2
<hr/>	
Gerardo trabaja horas extras.	→ Conclusión

Diccionario:

p : Antonio se va de vacaciones
 q : Gerardo trabaja horas extras
 r : el proyecto se atrasa

Forma lógica:

$p \rightarrow (q \vee r)$
 $p . \sim r$

 q

a. El condicional asociado a este razonamiento es:

$$\{[p \rightarrow (q \vee r)] \cdot (p \cdot \sim r)\} \rightarrow q$$

La tabla de verdad, en este caso, tendrá 8 filas, ya que hay 3 proposiciones simples:

p	q	r	{[p	→	(q	∨	r)]	·	(p	·	~	r)}	→	q
v	v	v	v		v		v		v			v		v
f	v	v	f		v		v		f			v		v
v	f	v	v		f		v		v			v		f
f	f	v	f		f		v		f			v		f
v	v	f	v		v		f		v			f		v
f	v	f	f		v		f		f			f		v
v	f	f	v		f		f		v			f		f
f	f	f	f		f		f		f			f		f


Para poder resolver el condicional principal, debemos primero resolver el antecedente que se encuentra entre llaves. La conectiva principal es una conjunción, que conecta al condicional entre corchetes “[$p \rightarrow (q \vee r)$]” y la conjunción entre paréntesis “($p \cdot \sim r$)”. Resolvamos la primera parte de la conjunción. Para poder resolver el condicional entre corchetes, se debe primero resolver su consecuente: ($q \vee r$).

p	q	r	{[p	→	(q	∨	r)]	·	(p	·	~	r)}	→	q
v	v	v	v		v	v	v		v			v		v
f	v	v	f		v	v	v		f			v		v
v	f	v	v		f	v	v		v			v		f
f	f	v	f		f	v	v		f			v		f
v	v	f	v		v	v	f		v			f		v
f	v	f	f		v	v	f		f			f		v
v	f	f	v		f	f	f		v			f		f
f	f	f	f		f	f	f		f			f		f




Resolvemos la disyunción, teniendo en cuenta los valores de q y r .

Una vez resuelta esa negación, se puede resolver la conjunción del paréntesis, tomando los valores de “*p*” y los del resultado de la negación:



p	q	r	{[p	→	(q	v	r)]	.	(p	.	~	r)}	→	q
v	v	v	v	v	v	v	v		v	f	f	v		v
f	v	v	f	v	v	v	v		f	f	f	v		v
v	f	v	v	v	f	v	v		v	f	f	v		f
f	f	v	f	v	f	v	v		f	f	f	v		f
v	v	f	v	v	v	v	f		v	v	v	f		v
f	v	f	f	v	v	v	f		f	f	v	f		v
v	f	f	v	f	f	f	f		v	v	v	f		f
f	f	f	f	v	f	f	f		f	f	v	f		f

Ahora, podemos resolver la conjunción entre llaves, tomando el resultado del condicional entre corchetes y el resultado de la conjunción entre paréntesis:



p	q	r	{[p	→	(q	v	r)]	.	(p	.	~	r)}	→	q
v	v	v	v	v	v	v	v	f	v	f	f	v		v
f	v	v	f	v	v	v	v	f	f	f	f	v		v
v	f	v	v	v	f	v	v	f	v	f	f	v		f
f	f	v	f	v	f	v	v	f	f	f	f	v		f
v	v	f	v	v	v	v	f	v	v	v	v	f		v
f	v	f	f	v	v	v	f	f	f	f	v	f		v
v	f	f	v	f	f	f	f	f	v	v	v	f		f
f	f	f	f	v	f	f	f	f	f	f	v	f		f

Por último, resolvemos el condicional principal, tomando como valores del antecedente los del resultado de la conjunción entre llaves y como valores del consecuente los valores de “*q*”.

p	q	r	{[p	→	(q	v	r)]	.	(p	.	~	r)}	→	q
v	v	v	v	v	v	v	v	f	v	f	f	v	V	v
f	v	v	f	v	v	v	v	f	f	f	f	v	V	v
v	f	v	v	v	f	v	v	f	v	f	f	v	V	f
f	f	v	f	v	f	v	v	f	f	f	f	v	V	f
v	v	f	v	v	v	v	f	v	v	v	v	f	V	v
f	v	f	f	v	v	v	f	f	f	f	v	f	V	v
v	f	f	v	f	f	f	f	f	v	v	v	f	V	f
f	f	f	f	v	f	f	f	f	f	f	v	f	V	f

Valores del antecedente
del condicional principal.

El condicional principal es verdadero en todos los casos.
Se trata de una tautología.

Valores del consecuente
del condicional principal.

El razonamiento es válido, ya que su condicional asociado es tautológico.

Ahora, resuelvan la consigna para las formas de razonamientos obtenidas en la Actividad 3, teniendo en cuenta estos dos ejemplos.

3. Algunas formas de razonamiento importantes

Algunas formas de razonamiento válidas y algunas inválidas son utilizadas con tanta frecuencia que se les ha dado un nombre. No son las únicas formas válidas e inválidas, ya que existen infinitas formas de razonamiento, ni tampoco son las únicas que tienen nombre, pero estas, por diferentes motivos (que veremos más adelante, en el capítulo III) son muy útiles, y es necesario nombrarlas para poder hacer referencia a ellas fácilmente.

3.1. *Modus ponens* y *Modus tollens*

A continuación, presentamos dos formas de razonamiento válidas muy comunes: el *Modus ponens* y el *Modus tollens*.

3.1.1. *Modus ponens*

La forma de este razonamiento es:

$$\begin{array}{c} A \rightarrow B \\ A \\ \hline B \end{array}$$

Al escribir esta forma, **empleamos letras de imprenta mayúscula** (A, B, etc.), en lugar de las letras que usamos para nombrar a las proposiciones simples (p, q, r, etc.). Como presentamos en el apartado 2, las letras proposicionales se utilizan para nombrar proposiciones simples. **Las letras de imprenta mayúscula, en cambio, pueden representar proposiciones tanto simples como compuestas.**

Por ejemplo, podemos reemplazar cada una de las letras de imprenta mayúscula de la forma de razonamiento presentada por una proposición simple:

$$\begin{array}{c} p \rightarrow q \\ p \\ \hline q \end{array}$$

Si tomamos el siguiente diccionario:

p : le cortan la cabeza

q : se muere

el razonamiento sería:

Si le cortan la cabeza se muere.

Le cortan la cabeza,
por lo tanto, se muere.

Otros ejemplos de razonamientos con esta forma, en los que A y B se reemplazan por proposiciones compuestas son:

$$\begin{array}{c}
 \sim p \rightarrow \sim q \\
 \sim p \\
 \hline
 \sim q
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 (p \cdot q) \rightarrow r \\
 (p \cdot q) \\
 \hline
 r
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 p \\
 p \rightarrow (q \vee r) \\
 \hline
 (q \vee r)
 \end{array}$$

Todos estos ejemplos tienen la forma del *Modus ponens*. En todos ellos en una de las premisas se presenta un condicional, en la otra premisa se afirma el antecedente de ese condicional y en la conclusión se afirma su consecuente. Cabe aclarar que no es necesario que la primera premisa sea condicional, sino que el condicional puede aparecer en la segunda premisa (como en el tercer ejemplo). El orden de las premisas no resulta relevante, siempre y cuando una sea un condicional y la otra afirme su antecedente. Se pueden armar infinitos ejemplos de razonamientos con esta forma, reemplazando el antecedente y el consecuente del condicional por proposiciones distintas, repitiendo el antecedente en la segunda premisa y el consecuente en la conclusión.

3.1.2. *Modus tollens*

El *Modus tollens* es otra forma de razonamiento válida. La forma es la siguiente:

$$\begin{array}{c}
 A \rightarrow B \\
 \sim B \\
 \hline
 \sim A
 \end{array}$$

Si reemplazamos en esta forma cada letra por una proposición simple, sería:

$$\begin{array}{l} p \rightarrow q \\ \sim q \\ \hline \sim p \end{array}$$

Con el diccionario:

p : le cortan la cabeza

q : se muere

el razonamiento sería:

Si le cortan la cabeza, se muere.

No está muerto,

por lo tanto, no le cortaron la cabeza.

A continuación, se presentan otros ejemplos de razonamientos con esta forma:

$$\begin{array}{l} \sim p \rightarrow q \\ \sim q \\ \hline \sim \sim p \end{array} \quad \longrightarrow \quad \text{Observen que las negaciones se pueden acumular}$$

$$\begin{array}{l} \sim p \rightarrow q \\ \sim q \\ \hline p \end{array} \quad \longrightarrow \quad \text{La doble negación se puede simplificar, por lo que esta forma también es un } \textit{Modus tollens}.$$

$$\begin{array}{l} (p \cdot q) \rightarrow (r \vee s) \\ \sim (r \vee s) \\ \hline \sim (p \cdot q) \end{array}$$

En todos los casos de *Modus tollens*, en una premisa se presenta una proposición condicional, en la otra premisa se niega el consecuente de ese condicional y en la conclusión se niega su antecedente.

ACTIVIDAD 6

En el apartado 3.1 se presentaron dos formas de razonamiento válidas: el *Modus ponens* y el *Modus tollens*. Demuestren su validez por medio del método del condicional asociado.

3.2. Falacias formales

Hay infinitas formas de razonamiento válidas e infinitas formas de razonamiento inválidas. En algunos casos, la invalidez de un razonamiento resulta evidente simplemente al leerlo o escucharlo. Por ejemplo, resulta evidente que “Enero tiene 31 días. Por lo tanto, los protozoos son organismos unicelulares” es un razonamiento inválido. Teniendo en cuenta el siguiente diccionario:

p : enero tiene 31 días

q : los protozoos son organismos unicelulares

La forma de este razonamiento es:
$$\frac{p}{q}$$

Esta forma no resulta engañosa, no hay nada que sugiera que la proposición simple q se sigue de la proposición simple p . Si realizan la tabla de verdad, verán que se trata de una contingencia. Este razonamiento es inválido, es decir que es no deductivo.

Si bien en este capítulo no nos ocupamos de los criterios de corrección de los razonamientos no deductivos, podemos observar, intuitivamente, que este caso no es correcto. Resulta evidente que el hecho de que enero tenga 31 días no ofrece razones para concluir que los protozoos son organismos unicelulares, es decir, la premisa no aporta información pertinente para extraer la conclusión pretendida.

Hay algunos casos de **razonamientos** que, a diferencia de este ejemplo, **resultan engañosos, puesto que, o bien parecen deductivos, a pesar de**

ser inválidos, o bien parecen correctos a pesar de no serlo. A este tipo de razonamientos se los llama falacias. Las falacias se pueden clasificar en dos grupos, de acuerdo con la característica que las hace persuasivas. En este sentido, se llama falacias formales a aquellos razonamientos que, por su forma lógica, parecen válidos, pero son inválidos; y falacias no formales a los razonamientos no deductivos que por su contenido resultan engañosos y parecen correctos, pero no lo son, ya sea por un uso ambiguo de los términos en el razonamiento o por la presentación de premisas que no resultan pertinentes para la conclusión que se pretende establecer. En este libro nos ocuparemos únicamente de las falacias formales, en particular de la falacia de negación del antecedente y la falacia de afirmación del consecuente, que se presentan a continuación.

3.2.1. Falacia de negación del antecedente

La forma de este razonamiento es la siguiente:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ \sim A \\ \hline \sim B \end{array}$$

Con el diccionario

p : le cortan la cabeza

q : se muere

el razonamiento sería:

Si le cortan la cabeza, se muere.

No le cortaron la cabeza,
por lo tanto, no está muerto.

Antes de llevar a cabo un análisis de su forma, este razonamiento puede parecer válido, pero no lo es. Nótese que podría estar muerto por otros motivos, que a alguien no le hayan cortado la cabeza no quiere decir que esté vivo.

La forma es la siguiente:

$$\begin{array}{l} p \rightarrow q \\ \sim p \\ \hline \sim q \end{array}$$

Otros ejemplos con esta forma son:

$$\begin{array}{l} \sim p \rightarrow q \\ \sim \sim p \\ \hline \sim q \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \sim p \rightarrow q \\ p \\ \hline \sim q \end{array}$$

$$\begin{array}{l} (p \cdot q) \rightarrow (r \vee s) \\ \sim (p \cdot q) \\ \hline \sim (r \vee s) \end{array}$$

En todos estos casos, en una premisa se presenta una proposición condicional, en la otra premisa se niega el antecedente de ese condicional y, en la conclusión, se niega su consecuente.

3.2.2. Falacia de afirmación del consecuente

Este razonamiento falaz tiene la siguiente forma:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ B \\ \hline A \end{array}$$

Reemplazamos las letras de esta forma de razonamiento por proposiciones simples y el razonamiento tiene la siguiente forma:

$$\frac{p \rightarrow q \quad q}{p}$$

Con el diccionario:

p : le cortan la cabeza

q : se muere

el razonamiento sería:

Si le cortan la cabeza, se muere.

Está muerto,

por lo tanto, le cortaron la cabeza.

Este razonamiento puede parecer válido, pero su conclusión no está garantizada por sus premisas. Claramente, podría estar muerto por algún otro motivo. A continuación, se presentan ejemplos de razonamientos con esta forma:

$$\frac{\sim p \rightarrow \sim q \quad \sim q}{\sim p}$$

$$\frac{(p \cdot q) \rightarrow r \quad r}{(p \cdot q)}$$

En todos los casos de razonamientos con esta forma, **en una de las premisas se presenta un condicional, en la otra premisa se afirma el consecuente de ese condicional y, en la conclusión, se afirma su antecedente.**

ACTIVIDAD 7

En el apartado 3.2 se presentaron dos formas de razonamiento inválidas: la falacia de negación del antecedente y la falacia de afirmación del consecuente. Demuestren su invalidez por medio del método del condicional asociado.

ACTIVIDAD 8

El *Modus ponens*, el *Modus tollens*, la falacia de negación del antecedente y la falacia de afirmación del consecuente no son las únicas formas de razonamiento con nombre, pero su uso es muy común y reconocerlas resulta de utilidad. Puesto que el *Modus ponens* y el *Modus tollens* son formas de razonamiento válidas, cualquier razonamiento que tenga alguna de esas dos formas será válido. Así, se puede conocer la validez de un razonamiento que tiene la forma del *Modus ponens* o el *Modus tollens*, sin necesidad de recurrir al método del condicional asociado o a otros métodos formales. De la misma manera, se puede afirmar la invalidez de un razonamiento que tenga la forma de la falacia de afirmación del consecuente o de negación del antecedente.

Indiquen si las siguientes formas de razonamiento corresponden a *Modus ponens*, *Modus tollens*, falacia de afirmación del consecuente, falacia de negación del antecedente o a ninguna de las cuatro formas presentadas. En caso de que corresponda a alguna de las cuatro, indiquen si se trata de una forma válida o inválida. Los primeros dos enunciados se ofrecen resueltos a modo de ejemplo.

1.

$$\frac{(p \cdot q) \rightarrow r \quad \sim r}{\sim (p \cdot q)}$$

La forma de razonamiento corresponde al *Modus tollens*: una premisa es un condicional, la otra premisa es la negación del consecuente de ese condicional y la conclusión es la negación de su antecedente. Esta forma es válida.

2.

$$\frac{[(p \cdot q) \vee (r \cdot s)] \rightarrow t \quad \sim [(p \cdot q) \vee (r \cdot s)]}{\sim t}$$

Esta forma de razonamiento corresponde a la falacia de negación del antecedente: una premisa es un condicional, la otra premisa niega el antecedente de ese condicional y la conclusión niega su consecuente. Esta forma es inválida.

3.

$$\frac{(p \vee q) \rightarrow r \quad (p \vee q)}{r}$$

4.

$$\frac{\begin{array}{c} [(p \rightarrow q) \cdot r] \rightarrow r \\ r \end{array}}{[(p \rightarrow q) \cdot r]}$$

5.

$$\frac{\begin{array}{c} (p \leftrightarrow q) \rightarrow (p \cdot q) \\ \sim (p \cdot q) \end{array}}{\sim (p \leftrightarrow q)}$$

6.

$$\frac{\begin{array}{c} p \cdot r \\ (p \cdot r) \rightarrow q \end{array}}{q}$$

7.

$$\frac{\begin{array}{c} \sim [(p \rightarrow q) \vee r] \\ [(p \rightarrow q) \vee r] \rightarrow (p \vee r) \end{array}}{\sim (p \vee r)}$$

3.3. Un ejemplo de uso de *Modus tollens* y falacia de afirmación del consecuente

El uso de las cuatro formas de razonamiento presentadas en los apartados 3.1 y 3.2 es muy frecuente. En el capítulo III: *Conceptos, hipótesis y contrastación*, veremos su función en la puesta a prueba de hipótesis científicas y, en este apartado, presentaremos un ejemplo cotidiano en el que podríamos aplicar algunas de estas formas de razonamiento para encontrar la causa de un problema.

Supongamos que en una casa a la noche, se corta la luz. En esa situación, probablemente primero se nos ocurra intentar establecer si se trata de un problema en la casa o de un corte generalizado. Es decir, inmediatamente se nos ocurren dos explicaciones posibles para el corte de luz:

- hay un problema con la electricidad en la casa;
- hay un problema con la electricidad en la zona.

Fácilmente podemos poner a prueba la segunda opción. Simplemente, miramos por la ventana o salimos a la calle. Si vemos luces encendidas (en las casas vecinas, en los semáforos o en las esquinas), entonces no se trata de un problema con la electricidad de la zona. ¿Por qué? Porque si hubiera un problema en la zona, los semáforos deberían estar fuera de funcionamiento, las luces de la cuadra apagadas, etc. Supongamos que miramos por la ventana y vemos luces encendidas y los semáforos funcionando. Podemos concluir, entonces, que no hay un problema con la electricidad de la zona. Un modo de formular el razonamiento que nos permite llegar a esta conclusión es el siguiente:

Si hay un problema con la electricidad en la zona, entonces las
luces de la cuadra están apagadas.

Las luces de la cuadra no están apagadas.

No hay un problema con la electricidad en la zona.

Con el siguiente diccionario:

p : hay un problema con la electricidad en la zona

q : las luces de la cuadra están apagadas

la forma del razonamiento es:

$$\frac{p \rightarrow q \quad \sim q}{\sim p}$$

Esta forma corresponde al *Modus tollens*, de modo que sabemos que es válida. Así, este razonamiento nos permite descartar una de las explicaciones. Dado que hay luces encendidas en la cuadra, no se trata de un problema con la electricidad en la zona.

Una vez descartado que el corte de luz se deba a un problema con la electricidad en la zona, probablemente iremos a ver el tablero eléctrico de la casa, para ver si saltaron el disyuntor o la llave térmica. Supongamos que nos encontramos con que saltó la llave térmica. En ese caso, se nos podría ocurrir como explicación que alguno de los artefactos enchufados en ese momento esté en cortocircuito, provocando que salte la llave térmica. Lo que podríamos hacer entonces es desenchufar todos los artefactos que estén conectados e ir probando enchufar y encender uno a uno para intentar establecer si alguno de ellos se encuentra en cortocircuito. Para simplificar un poco el ejemplo, vamos a considerar que en ese momento en la casa solo estaban enchufados una heladera y un televisor. Entonces, empecemos por el televisor. Pensamos lo siguiente: si el televisor está en cortocircuito y lo enchufamos, entonces saltará la llave térmica. Hacemos la prueba y la llave térmica no salta. Podemos concluir luego, que el televisor no está en cortocircuito.

El razonamiento sería más o menos así:

Si el televisor está en cortocircuito y lo enchufamos, entonces
salta la llave térmica.

No salta la llave térmica.

No es cierto que el televisor esté en cortocircuito y lo enchufamos.

La conclusión que este razonamiento nos permite establecer no es directamente que el televisor no está en cortocircuito. Veamos por qué analizando la forma lógica de este razonamiento y, después, cómo hacemos para concluir a partir de aquí, que el televisor no es el causante del cortocircuito.

Con el diccionario:

p : el televisor está en cortocircuito

q : enchufamos el televisor

r : salta la llave térmica

la forma lógica del razonamiento sería:

$$\frac{(p \cdot q) \rightarrow r \quad \sim r}{\sim (p \cdot q)}$$

Este razonamiento, al igual que el anterior, tiene la forma del *Modus tollens*, de modo que es válido. Dados un condicional y la negación de su consecuente (premisas 1 y 2), podemos concluir la negación de su antecedente. En este caso, en el antecedente teníamos una conjunción, “enchufamos el televisor y el televisor está en cortocircuito”, por eso, esta forma nos permite concluir la negación de esa conjunción.

Hasta aquí establecimos, por medio de un razonamiento válido, que no es cierto que el televisor está en cortocircuito y lo enchufamos. Recordemos que una conjunción es falsa en caso de que alguna de sus partes o las dos sean falsas. Es decir que por lo menos alguna de las dos partes de esta conjunción debe ser falsa. Puesto que en este caso estamos asumiendo que efectivamente enchufamos el televisor, podemos asumir que la parte falsa de esta conjunción es “el televisor causa un cortocircuito” y, en consecuencia, podemos descartar la explicación que atribuía a un cortocircuito en el televisor la causa del corte de luz.

Nos queda entonces probar si la heladera fue la causante del corte de luz. Hacemos otra prueba: desenchufamos el televisor, enchufamos la heladera y vemos qué pasa. Supongamos que en este caso sí salta la llave térmica. Pensamos, entonces, que encontramos el desperfecto eléctrico

de la casa. Sin embargo, al analizar la forma lógica del razonamiento, veremos que esta conclusión es apresurada.

El razonamiento es:

Si la heladera está en cortocircuito y la enchufamos, entonces
salta la llave térmica.

Salta la llave térmica.

La heladera está en cortocircuito y la enchufamos.

Con el diccionario:

p : la heladera está en cortocircuito

q : enchufamos la heladera

r : salta la llave térmica

la forma del razonamiento es:

$$\frac{(p \cdot q) \rightarrow r}{(p \cdot q)}$$

Este razonamiento tiene la forma de la falacia de afirmación del consecuente y, por lo tanto, es inválido. Entonces, ¿podemos afirmar la verdad de su conclusión? No. Repasemos la forma de esta falacia. Una premisa es un condicional, otra premisa afirma el consecuente del condicional y la conclusión afirma su antecedente. Por más que el consecuente del condicional sea verdadero, esto no nos permite afirmar que su antecedente es verdadero. Pensemos que en este ejemplo, la llave térmica puede haber saltado por otros motivos. Podría haber sucedido, por ejemplo, que el momento en el que enchufamos la heladera coincidiera con una suba de tensión (debida a causas ajenas a la casa) que provocó el salto de la llave térmica.

¿Esto significa que no podemos extraer ninguna conclusión a partir de las pruebas que hicimos en este caso? No exactamente. Si al dejar la heladera desenchufada, la luz no se vuelve a cortar, y al enchufarla se corta nuevamente, podemos pensar que es muy probable que la heladera esté en cortocircuito. Es decir que podemos llegar a esta conclusión recurriendo a un razonamiento no deductivo. Lo que resultaría erróneo es considerar a esta conclusión garantizada deductivamente. Como veremos, la forma en que testeamos hipótesis en la vida cotidiana es análoga al modo en que los científicos testean hipótesis en sus prácticas habituales. En el capítulo III, veremos en detalle todos los elementos de la puesta a prueba de hipótesis científicas, así como los desafíos que genera su estructura lógica. Como presentamos con este ejemplo, uno de los problemas de la puesta a prueba es que, por la forma lógica, podemos probar la falsedad de determinadas hipótesis, pero no demostrar su verdad. En los capítulos III y IV veremos las respuestas de distintos filósofos de la ciencia a esta cuestión.

Síntesis del capítulo

En este capítulo nos ocupamos de algunas nociones y herramientas de lógica. Vimos que un razonamiento es un conjunto de proposiciones, en el cual se pretende que una de ellas –la conclusión– se siga del resto –las premisas– y que, dependiendo de si son válidos o no, los razonamientos pueden ser deductivos o no deductivos, respectivamente. Los razonamientos deductivos transmiten la verdad de las premisas a la conclusión, es decir que si sus premisas son verdaderas su conclusión también lo es. En los razonamientos no deductivos, en cambio, la verdad de las premisas no garantiza la verdad de la conclusión, es decir que aunque tengan premisas verdaderas la conclusión puede ser falsa. Entre estos últimos se encuentran los razonamientos inductivos, que permiten inferir con cierta probabilidad la conclusión, pero no garantizan su verdad. Así como hay distintos tipos de

razonamientos, también hay distintos tipos de lógicas y trabajamos con una de ellas en particular: la lógica proposicional simbólica. Puesto que la validez de los razonamientos depende de su forma lógica, explicamos cómo extraer la forma lógica, en primer lugar, de las proposiciones y, en segundo lugar, de los razonamientos. Para esto trabajamos con un lenguaje artificial y presentamos las principales conectivas lógicas.

También, vimos un método para determinar la validez de una forma de razonamiento: el método del condicional asociado. El condicional asociado a un razonamiento es, como su nombre lo indica, una proposición condicional que tiene como antecedente la conjunción de las premisas del razonamiento y como consecuente, la conclusión. Al confeccionar una tabla de verdad para el condicional asociado, podemos determinar si el razonamiento es válido o no: si el resultado es una tautología, el razonamiento es válido; en cambio, si el resultado es una contradicción o una contingencia, el razonamiento es inválido.

Por último, presentamos algunas formas válidas de razonamiento de uso frecuente, el *Modus ponens* y el *Modus tollens*, y dos falacias formales, la falacia de afirmación del consecuente y la falacia de negación del antecedente, que parecen válidas a simple vista, pero son formas de razonamiento inválidas.

En el capítulo III: *Conceptos, hipótesis y contrastación*, estas herramientas servirán para realizar y analizar una reconstrucción lógica de la puesta a prueba de las hipótesis científicas.

Para ampliar

COPI, IRVING (1972), *Introducción a la Lógica*, Buenos Aires, Eudeba. Hay múltiples ediciones. Les recomendamos el capítulo 1 para profundizar en las nociones de razonamiento y validez y el capítulo 8 para lógica proposicional simbólica.

DÍEZ, JOSÉ (2002), *Iniciación a la Lógica*, Barcelona, Ariel.

L.T.F. GAMUT (2002), *Introducción a la Lógica*, Buenos Aires, Eudeba. Les aconsejamos el capítulo 2, de lógica proposicional.

Capítulo III

CONCEPTOS, HIPÓTESIS Y CONTRASTACIÓN

Introducción

En el capítulo II: *Nociones básicas de lógica*, hemos conocido las herramientas de la lógica proposicional, las cuales comenzaremos a utilizar para abordar uno de los temas fundamentales que se ha tratado en la Filosofía de la ciencia: la *contrastación de hipótesis*. En un sentido general, una hipótesis es una idea que tiene un científico respecto de determinado aspecto en el mundo. Pero la tarea del científico no consiste solamente en proponer hipótesis sino que consiste, por sobre todas las cosas, en “poner a prueba” o, lo que es lo mismo, “contrastar” esas hipótesis, es decir, evaluar si esas hipótesis pueden ser aceptadas o, en su defecto, han de ser rechazadas.

Las hipótesis, en tanto ideas que tienen los científicos acerca del mundo, están expresadas en enunciados los cuales, a su vez, están constituidos por conceptos. Por esta razón, antes de estudiar de lleno en qué consiste una hipótesis científica y las particularidades que tiene su contrastación, tendremos que comenzar haciendo algunas distinciones respecto de los diferentes conceptos que aparecen en el lenguaje técnico de los científicos y, también, respecto de los distintos tipos de enunciados que estos manejan.

Solo una vez que hemos comprendido las tipologías de conceptos y enunciados científicos, estaremos listos para embarcarnos en el análisis lógico de la contrastación de hipótesis. Veremos que en la puesta a prueba, no solamente puede identificarse el enunciado que expresa la hipótesis que se pretende evaluar, sino que también intervienen una serie de elementos subsidiarios como: las condiciones iniciales, las hipótesis auxiliares, las cláusulas *ceteris paribus*, además de las consecuencias observacionales. El objetivo de esta parte del presente capítulo es entrenarnos para, por un lado, reconocer los enunciados que expresan estos elementos que acompañan a la hipótesis principal y, por el otro, entender las relaciones lógicas que entablan estos enunciados entre sí.

También, estudiaremos la reconstrucción lógica que puede hacerse de la situación en la que la hipótesis evaluada resulta ser rechazada o, desde un vocabulario más técnico, resulta ser “refutada” o “falsada”. En este caso, pensaríamos que el científico tiene que abandonar la hipótesis, pero notaremos que en los casos de refutación, todavía tiene la posibilidad de hacer uso de “hipótesis ad hoc” para salvar a la hipótesis que no ha superado la instancia de puesta a prueba. La reconstrucción lógica de la situación de aceptación de una hipótesis será estudiada con detenimiento. Pues, veremos que en estos casos es difícil sostener que la hipótesis en cuestión fue “verificada”. En esta situación, los filósofos se dividen entre aquellos que consideran que la hipótesis fue “confirmada” y aquellos que consideran que la hipótesis fue “corroborada”. Tendremos como objetivo estudiar las diferencias y algunos problemas que plantean las nociones de “verificación”, “confirmación” y “corroboración”.

Más allá de sus diferencias, tanto en la situación en que la hipótesis es rechazada, como en la situación en que es aceptada, surge un problema común que se relaciona con la imposibilidad lógica de señalar cuál fue el elemento concreto que nos ha llevado al éxito o al fracaso de la con-

trastación. Este tema lo estudiaremos bajo el nombre de “holismo de la contrastación”, y con él cerraremos esta serie de problemas que se evidencian cuando hacemos un análisis lógico de la puesta a prueba de las hipótesis científicas.

1. Tipología de conceptos

Dentro del lenguaje utilizado en la ciencia, es posible encontrar tres tipos de términos: los que provienen del lenguaje natural y son empleados según el sentido común (por ejemplo, “verde”, “mesa”, “caliente”), los que proceden de las ciencias formales (como los que nombran a los números naturales, o los propios de la geometría) y se usan en un sentido técnico, y aquellos que, aunque a veces provienen del lenguaje natural (como ocurre en el caso de “fuerza”), fueron propuestos en el seno de teorías científicas y adquieren su significado en este marco teórico, es decir, expresan un concepto distinto al que poseen en el lenguaje natural.

No nos interesa hablar de términos, sino de los conceptos que expresan. Dos términos distintos pueden expresar un mismo concepto, por ejemplo, dos términos en distinto idioma, como “lluvia” y “rain”. A veces, una palabra puede expresar conceptos diferentes, como ocurre con “banco”. Qué cosa sea un concepto es una cuestión fuertemente discutida en la filosofía desde sus orígenes. No nos adentraremos en ello.

También hay que distinguir el concepto de su referencia o su extensión. La referencia o extensión de un concepto es el conjunto de entidades a las que se aplica. Así, bajo el concepto de seres humanos se incluyen distintos individuos: Sócrates, Franz Kafka, Charly García, etc. La razón por la cual no hay que confundir el concepto con su extensión consiste en que, en muchos casos, puede ocurrir que dos conceptos distintos tengan la misma extensión. Por ejemplo, el concepto expresado por la

expresión “Presidentes peronistas de la Argentina de 2003 a 2015” y el concepto de “Presidentes de la Argentina de 2003 a 2015” coinciden en extensión aunque sean distintos (uno es más general que el otro). Dos expresiones pueden no ser sinónimas y, sin embargo, aplicarse a las mismas cosas. Es decir, dos términos pueden ser coextensivos y no expresar el mismo concepto.

Cuando queremos hablar de una palabra y no de aquello a lo que se refiere, se utilizan comillas. Así, si queremos decir que la palabra perro no lleva acento, entrecomillamos “perro”: “Perro” no lleva acento. Cuando queremos decir algo del concepto, por ejemplo, que el concepto de perro es cualitativo, entonces lo aclararemos: El concepto de perro es cualitativo. Cuando queremos hablar del perro, simplemente: El perro tiene rabia.

Todo esto puede parecer algo confuso al comienzo, pero estas distinciones son útiles a la hora de hablar del lenguaje de la ciencia. Entonces, un término expresa un concepto. Se dice entonces que el concepto *determina* la referencia o la extensión del término, que es el conjunto de las cosas que abarca ese concepto.

Podemos ahora hacer una tipología de conceptos (técnico-científicos) pero que también se aplica a conceptos del lenguaje natural. Entre estos pueden distinguirse: conceptos cualitativos (o clasificatorios), comparativos y cuantitativos (o métricos).

1.1. Conceptos cualitativos (o clasificatorios)

Clasificar es la forma más sencilla de subsumir objetos a un concepto. La extensión de un concepto clasificatorio es un conjunto simple. Así, son conceptos clasificatorios: perro, humano, mesa, rojo, país, árbol. Un objeto es o no un árbol, es o no un país. Un concepto cualitativo se aplica

o no a cierto objeto. Si se aplica, este objeto forma parte de su extensión. En muchos casos en ciencia, se utilizan conceptos clasificatorios introducidos mediante lo que se conoce técnicamente como una “clasificación”. Una clasificación de un ámbito de objetos establece conjuntos a partir de los objetos de ese ámbito de modo que ninguno de esos conjuntos sea vacío, ningún objeto de ese dominio pertenezca a más de uno de esos conjuntos y todo objeto del dominio pertenezca a alguno de los conjuntos. Esto es lo que en teoría de conjuntos es llamado “establecer una partición” en cierto dominio de objetos. En algunos casos, se establecen jerarquías taxonómicas, clasificaciones que se enlazan entre sí formando jerarquías de clases de distinto nivel de generalidad, como ocurre en el caso de la clasificación de los animales vivos en la que se ordenan en especies, géneros, familias, órdenes, etc.

Frente a cierto ámbito de objetos es posible realizar numerosas clasificaciones distintas. En definitiva, cuál elijamos dependerá de cuán fructífera sea tal clasificación a la hora de explicar y predecir el comportamiento de los objetos de ese ámbito. Distintas teorías con respecto a esos objetos usan, frecuentemente, aunque no necesariamente, distintas clasificaciones de objetos. Así, dentro de la física aristotélica era esencial la clasificación de objetos en supralunares y sublunares, los que estaban más acá y más allá de la órbita de la luna, pues estos tenían comportamientos absolutamente distintos. Con el abandono de la física aristotélica, esta clasificación fue abandonada.

Actualmente, existen discusiones muy fuertes en el área de la filosofía de la biología (pero es una discusión que también se da al interior mismo de la biología) acerca de cuál sea la clasificación de los organismos vivos más adecuada.

1.2. Conceptos comparativos

Estos conceptos, más complejos que los cualitativos, permiten establecer un orden de más y de menos en cierto dominio. El conjunto que determina un concepto cualitativo no tiene estructura alguna. Los conceptos comparativos, en cambio, permiten ordenar el ámbito de objetos al que se aplican, y no solo clasificarlo. Son conceptos comparativos, entre otros: más alto, más bajo, más viejo, más joven, más abajo, más arriba, más duro, más claro, etc.

Si uno aplica, por ejemplo, el concepto de más alto a un grupo de personas, estas quedarán ordenadas de mayor a menor altura. En biología evolutiva, se suele hablar de “éxito reproductivo diferencial”. Este concepto se determina, a veces, a través de la cantidad de descendencia que tienen los organismos en una población. Así, el que mayor éxito reproductivo experimentó es el que más descendencia dejó, y el de menor éxito, fue el que menos descendencia tuvo. Este sería un ejemplo de concepto comparativo. Establece un orden entre los individuos de la población que va del que más al que menos éxito reproductivo tuvo.

1.3. Conceptos cuantitativos (o métricos)

Estos conceptos asignan números, pero no para representar un mero orden, sino para representar ciertas propiedades específicas de los objetos, denominadas “magnitudes”. Dicha asignación permite el uso de operaciones matemáticas de un modo empíricamente significativo. Son ejemplos de conceptos cuantitativos: longitud, tiempo, precio, temperatura, etc. Los conceptos cuantitativos son funciones que a determinado objeto le asignan un valor numérico.

¿Qué significa “realizar operaciones matemáticas de un modo empíricamente significativo”?

Supongamos que establecemos un orden entre un grupo de diez personas a través del concepto comparativo “ser más alto que”. Supongamos que una vez establecido este orden, repartimos números entre esas personas, otorgándole 10 al más alto, 1 al menos alto y los números correspondientes a los intermedios. Esto es claramente una asignación de números que no permite hacer operaciones interesantes. Por ejemplo, sumar el 1 del más bajo con el 2 del siguiente más bajo, no tiene nada de interesante. Si tratamos con el concepto cuantitativo de altura, en cambio, podemos saber a través de una operación matemática que dos personas, una de 1,70 m y otra de 1,65 m, una sobre los hombros de la otra, pueden superar en altura a una más alta de 1,90 m.

Suele sostenerse que la ciencia contemporánea, posterior a la Revolución copernicana concluida en el siglo XVII, tiene como característica esencial y novedosa matematizar el mundo. Esto no es cierto por dos razones. Por una parte, existen teorías científicas anteriores al siglo XVII que utilizan conceptos cuantitativos. Por otra, no toda teoría actual los emplea. Muchas teorías no tienen conceptos cuantitativos. Así, por ejemplo, las leyes descubiertas por Arquímedes utilizan conceptos cuantitativos, y la teoría de la selección natural, descubierta por Charles Darwin, no lo hace.

ACTIVIDAD 1

Ya sabemos en qué consisten los conceptos cualitativos, comparativos y cuantitativos o métricos. Ahora determinen a qué tipo de conceptos (cualitativos, comparativos, cuantitativos) corresponden los siguientes términos:

más duro que
oro
peso
velocidad en kilómetros por hora
murciélago
más gordo que
más agudo que
edad

2. Tipología de enunciados

En este capítulo, el foco está dirigido hacia la ciencia empírica o fáctica dejando de lado la reflexión sobre la ciencia formal. La ciencia empírica está constituida por disciplinas como la física, la química, la psicología, etc., y la ciencia formal está conformada por disciplinas como la lógica, la matemática, etc. Lo importante del caso es que la ciencia empírica, a diferencia de la formal, relaciona de algún modo sus afirmaciones con la experiencia. Es, en este sentido, que afirmamos que los científicos someten sus hipótesis a contrastación empírica. Cuando los filósofos comenzaron a analizar cómo es que las hipótesis se contrastan, existía la confusión de pensar que la forma en que se contrastaban las teorías y las hipótesis aisladas era la misma. Es decir, se pensaba que este método permitía contrastar teorías científicas, pero la contrastación de teorías es mucho más compleja. Pues las teorías científicas, a diferencia de las hipótesis científicas, son marcos mucho más complejos con los que los científicos tratan los fenómenos del mundo y merecen un análisis diferente que estudiaremos en el capítulo IV: *Estructura y cambio de teorías: diferentes perspectivas filosóficas*. En el presente capítulo abordaremos únicamente cómo se contrastan las hipótesis científicas y las complicaciones que esto acarrea. Como las hipótesis son enunciados, tendremos que comenzar con una distinción entre diferentes tipos de enunciados en ciencia de acuerdo con los conceptos que en ellos aparecen. Esto permitirá, más adelante, presentar un análisis de la contrastación de las hipótesis más claro.

2.1. Distinción teórico-observacional

Las teorías científicas sirven para explicar y hacer predicciones acerca de eventos observables. Por ejemplo, la genética permite predecir o explicar la forma en que se heredan caracteres observables, la mecánica

clásica (la teoría de Newton) trata de predecir o explicar los movimientos de las partículas, como planetas que se mueven en el espacio u objetos que caen en la superficie terrestre. Para explicar estos fenómenos es necesario usualmente postular entidades que no son observables. En el caso de la genética, si queremos explicar por qué cuando cruzamos una planta de arvejas verdes con una de arvejas amarillas, todos los descendientes son amarillos, se postulan genes, que son entidades que en el momento que se propusieron no eran en absoluto observables. A las entidades (como rasgos, planetas) o propiedades (como verde o caliente) que se observan directamente, se las llama “entidades observables”. A las entidades que se postulan para explicar el comportamiento de las entidades observables se las llama “entidades teóricas”.

En base a esta distinción, podemos establecer subsiguientemente otra distinción pero entre términos. A los términos (palabras) que nombran a las entidades observables, los vamos a llamar “términos observacionales”; a los que mencionan a las entidades teóricas, “términos teóricos”. Por ejemplo, “perro” es un término observacional a diferencia de “neutrón” que es un término teórico. Ha de tenerse en cuenta que, en un sentido general, los términos observacionales refieren a entidades a las que accedemos empíricamente bajo cualquier modalidad sensorial (tacto, gusto, audición, vista, olfato). Así, términos como “ruido”, “agrio”, “rugoso” serían observacionales bajo la clasificación presentada.

2.2. Distinción entre tipos de enunciados

La distinción teórico-observacional fue propuesta hace tiempo, y en el capítulo IV vamos a ver que es sumamente problemática. Pero en un comienzo permite establecer ciertas diferencias interesantes entre enunciados científicos que nos permitirán comprender algunas cuestiones acerca de la contrastación de hipótesis en la ciencia. En una primera

instancia, nos permite distinguir entre enunciados observacionales o empíricos y enunciados teóricos. Tengamos en cuenta, de manera preliminar, que todos los enunciados, sean observacionales o teóricos, tienen términos lógico-matemáticos. Si bien estos términos no van a ser el foco de nuestro análisis, podemos caracterizarlos como aquellos términos (o palabras) que sirven para estructurar el enunciado. Son típicamente los términos lógicos que designan las conectivas lógicas que estudiamos en el capítulo II: *Nociones básicas de lógica* (“y”, “o”, “pero”, etc.), términos que suelen denominarse “cuantificadores” (“todos”, “algunos”, etc.), pronombres de todo tipo (“este”, “esa”, “aquí”, etc.), entre otros. Son términos matemáticos los números naturales, por ejemplo.

Lo que nos importa en este contexto es que los enunciados observacionales o empíricos son los que solo tienen términos observacionales (además de los lógico-matemáticos) y los enunciados teóricos son los que tienen algún término teórico.

Por ejemplo, “Este perro tiene espuma en la boca” y “Todos los gatos blancos tienen ojos claros” son enunciados observacionales, pues todos los términos no lógico-matemáticos que aparecen en ellos son observacionales. En cambio, “Este perro tiene rabia” y “Todos los gatos blancos tienen genes recesivos para el color del pelaje” son enunciados teóricos, ya que en ellos aparecen términos como “rabia” y “genes” (la rabia no se observa directamente, sino que se determina a partir de síntomas sí observables directamente).

Por otro lado, es posible distinguir entre enunciados singulares y generales. Llamaremos “enunciado singular” a un enunciado que habla acerca de una cosa o de unas pocas cosas, por ejemplo, “Júpiter tiene anillos”; y nombraremos “enunciado general” a uno que se refiere a una clase universal de cosas, por ejemplo, “Los planetas giran en elipses”.

Es importante resaltar que algunos enunciados que tienen una forma lógica general son en realidad singulares en el sentido expuesto, por ejemplo, “Todos los presidentes de la Argentina hasta el momento miden menos de dos metros”, que se refiere a un conjunto no muy grande de objetos. Por otra parte, enunciados que parecen singulares, como “El agua se congela”, se refieren en realidad a una clase universal de cosas (a toda el agua) y, por lo tanto, son generales. Y los enunciados existenciales, también, pueden hacer referencia a una clase universal y, por ende, ser generales en este sentido; por ejemplo, “Existen humanos resistentes al cólera”.

Hecha esta diferencia, al introducir ambas distinciones, podemos diferenciar entre tres tipos de enunciados que nos interesan especialmente: enunciados básicos, generalizaciones empíricas y enunciados teóricos.

2.2.1. Enunciados básicos

Son enunciados singulares, ya que se refieren a uno o a unos pocos objetos, y son observacionales, es decir, solo tienen términos observacionales además de los lógico-matemáticos. En estos se dice que cierto objeto observable tiene determinada propiedad, también, observable. Por ejemplo, “Esta arveja es verde”. La particularidad de tales enunciados es que parecería posible verificarlos y refutarlos a partir de la experiencia. Más adelante veremos que esto ha sido problematizado. Además, son enunciados básicos enunciados como “Todas las arvejas de esta lata son verdes” aunque su forma lógica sea general, puesto que también se refiere a un grupo pequeño de cosas de manera particular. Ocurre lo mismo con un enunciado como “El treinta por ciento de las arvejas de esta lata es verde”. Conviene aquí aclarar que utilizaremos los términos “verificar” y “refutar” de un modo técnico:

- “Verificar” un enunciado significa mostrar que ese enunciado es verdadero sin lugar a dudas.
- “Refutar” un enunciado significa mostrar que ese enunciado es falso sin lugar a dudas.

2.2.2. Generalizaciones empíricas

Son, también, enunciados que están formados solo por términos observacionales, además de los lógico-matemáticos. Pero, en este caso, no es cierto que se puedan verificar y refutar directamente por una experiencia, ya que no hablan acerca de una entidad observacional única, sino de clases enteras de ellas.

Entre estos se pueden encontrar enunciados observacionales universales, como “Todos los cuervos son negros” y existenciales como “Existen cuervos negros”. Los enunciados empíricos universales pueden refutarse, pues si encontramos un cuervo que no es negro sabremos que el enunciado “Todos los cuervos son negros” es falso; pero no pueden verificarse, pues se refieren a toda la clase de los cuervos, entre los cuales se encuentran los que ya murieron en el pasado y los que todavía no nacieron. Los enunciados empíricos existenciales, al contrario, pueden verificarse, pues si observamos un cuervo negro sabremos que el enunciado “Existe un cuervo negro” es verdadero, pero no podemos refutarlo. Para saber que el enunciado es falso deberíamos, otra vez, recorrer toda la clase de los cuervos, lo cual, como veíamos, no es posible.

También, son generalizaciones empíricas los enunciados estadísticos o probabilísticos que no tienen términos teóricos, como “El ochenta por ciento de los cuervos son negros” o “Dos de cada tres cuervos son negros”.

2.2.3. Enunciados teóricos

Son aquellos que tienen al menos un término teórico. Estos no se pueden verificar o refutar directamente. Puesto que en ellos aparecen términos teóricos, deben ser testeados a través de inferencias o utilizando instrumentos.

Algunos enunciados teóricos solo contienen términos teóricos, además de términos lógico-matemáticos. Denominaremos a estos enunciados, enunciados teóricos puros. Otros combinan términos teóricos y observacionales. Por este motivo, los denominaremos enunciados teóricos mixtos. Un ejemplo de enunciado teórico puro es “La rabia es un virus”.

Ahora bien, uno puede preguntarse: ¿cómo puede un enunciado, que solo habla de relaciones entre objetos inobservables, ser informativo acerca de lo observable? La respuesta es simple: es necesario que haya enunciados que conecten estos enunciados puramente teóricos con lo observable. Este es el papel de los enunciados mixtos como “Los perros con rabia tienen espuma en la boca”. Este enunciado conecta la rabia con ciertos síntomas y permite que conceptos teóricos, como rabia, se vuelvan explicativos y permitan realizar predicciones. Por eso, los enunciados teóricos mixtos eran llamados por los filósofos de la concepción clásica, “reglas de correspondencia”, porque conectan lo teórico con lo observable. Veremos sobre esta distinción en el capítulo IV.

ACTIVIDAD 2

En esta sección, hemos trazado algunas distinciones que problematizaremos recién en el siguiente capítulo: *Estructura y cambio de teorías: diferentes perspectivas filosóficas*. La primera tiene que ver con los términos observacionales y teóricos (no observacionales). Esta primera distinción nos permitió trazar la segunda distinción que clasifica tipos de enunciados. A grandes rasgos, podemos distinguir, por un lado, los enunciados observacionales o empíricos, que solamente tienen términos observacionales, además de los términos lógico-matemáticos y

los enunciados teóricos, que tienen al menos un término teórico. Dentro de los enunciados empíricos están los enunciados básicos, que son singulares, y las generalizaciones empíricas, que son generales. Dentro de los enunciados teóricos, están los enunciados teóricos puros, que solamente tienen términos teóricos, y los enunciados mixtos, que tienen términos teóricos y observacionales.

	Términos observacionales	Términos teóricos	Términos teóricos y observacionales
Singular	enunciados básicos	enunciados teóricos	enunciados mixtos
General	generalizaciones empíricas	enunciados teóricos	enunciados mixtos

En cada uno de los enunciados que figuran a continuación:

- a. De los términos subrayados, señalen cuáles son teóricos y observacionales.
- b. Determinen si se trata de enunciados generales o singulares.
- c. Determinen si se trata de enunciados teóricos o empíricos (u observacionales).
- d. Determinen si se trata de enunciados teóricos puros o mixtos, las generalizaciones empíricas existenciales y generales, y los enunciados básicos.
- e. Finalmente, respondan: ¿cómo adquieren significado empírico los enunciados teóricos puros?

- 1. Los virus infectan células y producen viriones para difundir sus genes.
- 2. La varicela es una infección viral causada por un herpesvirus del género Vari-
cellavirus y la subfamilia Alphaherpesvirinae.
- 3. Las personas infectadas con el virus de la varicela exhiben manchas rojizas
y planas, que van tomando relieve poco a poco hasta convertirse en ampollas o
vesículas.
- 4. Carlos tiene varicela.
- 5. Carlos tiene manchas rojizas en su cuerpo.
- 6. Las manchas aparecen en todo el cuerpo, especialmente en el tronco y en el cue-
ro cabelludo.
- 7. Todos los pacientes de esta habitación tienen manchas en la piel y fiebre. (Con-
sideren que la fiebre es detectada a través del contacto de la mano con la frente del
paciente)
- 8. Existen casos en los que aparecen llagas en la boca, los párpados y las vías respirato-
rias.
- 9. La probabilidad de transmisión del virus de la varicela entre los niños que
asisten al mismo centro escolar o entre los miembros de la familia supera el 90%.

10. El 80 % de las personas que tienen fiebre tienen dolores musculares.
11. Si un niño tiene fiebre, pierde el apetito.
12. Esta mañana ingresaron 20 chicos al hospital con fiebre y falta de apetito.
13. El 20 % de los que ingresaron esta mañana al hospital tiene fiebre.
14. El 20 % de los que ingresaron esta mañana al hospital se encuentran infectados por el virus de la varicela.

3. Contrastación de hipótesis

Hemos llegado al punto central de este capítulo. Comencemos nuestro análisis a partir de un ejemplo que suele aparecer en los manuales de historia de la biología.¹ Es sabido que en la materia inerte como, por ejemplo, en la carne podrida aparecen gusanos y otros organismos. He aquí la posibilidad de plantear un problema científico simple: ¿cómo se explica la aparición de estos seres vivos en la materia inerte? Muchos científicos del siglo XVII solían asumir la hipótesis de la generación espontánea para dar cuenta de este problema. Podemos expresar la hipótesis de la generación espontánea de la siguiente manera:

H1: Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte.

¿Cómo hacemos para contrastarla empíricamente? Este enunciado es una generalización empírica, es decir, es un enunciado general y no contiene términos teóricos. En adelante, debemos tener en cuenta que las hipótesis científicas con las que estudiaremos el tema de la contrastación tienen esta estructura relativamente simple. Trataremos únicamente la contrastación de enunciados universales. No vamos a estudiar la puesta a prueba de las hipótesis que tienen la estructura de generalizaciones empíricas existenciales o probabilísticas. La contrastación de este tipo de enunciados tiene complicaciones adicionales que no es necesario abordar en este capítulo.

¹ Ver Rostand (1966).

Lo que debemos preguntarnos entonces es qué consecuencia que podamos observar podría tener esta hipótesis. Podemos inferir de ella que la materia inerte que no toma contacto con agentes externos (por ejemplo, moscas que pongan huevos de los que las larvas surjan) generará gusanos. Sin embargo, el enunciado:

“La materia inerte que no toma contacto con agentes externos generará gusanos” es también una generalización empírica y presenta, por lo tanto, las mismas dificultades que nuestra hipótesis original (H1). Lo que cualquier biólogo haría es un experimento. Por ejemplo, en el siglo XVII Francesco Redi puso a prueba H1 de la siguiente manera. Colocó trozos de carne en varios frascos de boca grande, cubriéndolos con un papel herméticamente atado y sujeto.

Al haber procedido como Redi, podemos encontrar con dos posibles situaciones. La primera situación posible es que aparezcan gusanos en los frascos que fueron tapados. Esta situación parece acomodarse a la idea expresada por H1 de que los gusanos se generan por la sola presencia de la materia inerte. Pero hay una segunda situación que consiste en la posibilidad de que no aparezcan los gusanos en los frascos tapados. En este caso, parecería que fallaría la idea de la generación espontánea planteada en H1.

Lo que acabamos de ver es bastante intuitivo y constituye una descripción informal de una contrastación de hipótesis. Sin embargo, para poder establecer con claridad y precisión en qué consiste una contrastación, conviene reconstruir su proceso lógicamente.

Lo que debe hacerse para contrastar una hipótesis cualquiera es deducir de ella un enunciado básico. Recordemos que un enunciado básico es un enunciado singular sin términos teóricos. La deducción supone siempre

considerar condiciones iniciales que, en este caso, son los pasos experimentales descriptos por enunciados básicos. Así, de nuestra hipótesis, (H1), “Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte”, y de la condición inicial del experimento (CI1), “Se coloca carne fresca en el frasco 1” y la (CI2), “Se cierra el frasco 1 con papel”, se deduce un enunciado básico que llamaremos “consecuencia observacional” de H1 (CO1), “En el frasco 1 habrá gusanos”. Esto es lo se espera que pase a la luz de H1. Recuerden que las consecuencias observacionales describen cosas que podrían llegar a pasar asumiendo la hipótesis principal.

Luego, hay que realizar las observaciones y experiencias pertinentes. Seguimos a Redi en los pasos de su experimento. En la próxima sección estudiaremos ambas alternativas que pueden sucederse luego de colocar la carne en los frascos y taparlos con papel.

3.1. Asimetría de la contrastación

Notemos qué ocurre si la consecuencia observacional CO1 es falsa. Vimos informalmente que la consecuencia observacional se deduce de la hipótesis. Es decir, si la hipótesis es verdadera, entonces la consecuencia observacional debe ser verdadera. Este enunciado tiene la forma de un condicional material.

$$H1 \rightarrow CO1$$

Si es cierto que los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte, entonces en el frasco 1 habrá gusanos.

Si la consecuencia observacional resulta falsa, podemos negar H1. Es posible obtener la negación de la hipótesis por un Modus tollens, una forma de razonamiento válida:

$$\frac{H1 \rightarrow CO1 \quad \sim CO1}{\sim H1}$$

Es decir, si H1 implica a CO1, y CO1 es falsa, H1 tiene que ser indefectiblemente falsa. Así, si alguna de las consecuencias observacionales de una hipótesis resulta falsa, y la consecuencia observacional se deduce solo de la hipótesis, entonces la hipótesis se refuta o falsea concluyentemente.

Veamos ahora el caso en que la consecuencia observacional es verdadera. Supongamos que en el frasco 1 sí aparecen gusanos, ¿podemos afirmar que H1 es verdadera?

Si respondiéramos afirmativamente, nuestro razonamiento tendría la siguiente forma:

$$\frac{H1 \rightarrow CO1 \quad CO1}{H1}$$

¡Pero esta forma de razonamiento es inválida! Es una falacia de afirmación del consecuente. Si H1 implica a CO1 y CO1 resulta verdadera, no podemos afirmar con total seguridad que H1 sea verdadera. Dicho de otro modo, verificar una consecuencia observacional de una hipótesis no verifica la hipótesis, así como sí sucede que falsear una consecuencia observacional de una hipótesis también falsea a la hipótesis.

Una consecuencia interesantísima de este análisis es la llamada “asimetría de la contrastación”:

Asimetría de la contrastación: aunque es lógicamente posible refutar una hipótesis a través de sus consecuencias observacionales mediante un *Modus tollens*, es lógicamente imposible verificarla a partir de la verificación de sus consecuencias observacionales, pues ello tendría la forma de una falacia de afirmación del consecuente.

Por este motivo, no se puede sostener de ninguna hipótesis general de toda la ciencia actual que sea verdadera sin lugar a dudas, ni que esté demostrada, ni que esté verificada, ni nada por el estilo. La ciencia es falible. Las hipótesis pueden ser en cualquier momento refutadas por la experiencia. Todos los éxitos que hayan tenido al hacer predicciones en el pasado no implican que seguirán teniendo éxito en el futuro ni que sean verdaderas ciertamente. Por otro lado, esto no debe ser desalentador. En esta fragilidad radica la fuerza de la ciencia, en el hecho de que somete sus juicios al examen de la experiencia.

Por otra parte, si es posible lógicamente mostrar que una hipótesis es falsa (si bien, ahora pondremos algunos peros a esta cuestión). De hecho, la materia inerte que es privada del contacto con agentes externos del modo planteado por Redi, no genera gusanos, pero ¿implica esto que, sin lugar a dudas, la hipótesis en cuestión es falsa? Discutiremos esto más sofisticadamente en el siguiente punto.

ACTIVIDAD 3

Los elementos de la contrastación que hemos estudiado hasta ahora son los siguientes:

Hipótesis: es un enunciado ofrecido por el científico para explicar un fenómeno cuyo valor de verdad todavía no está determinado.

Condiciones iniciales: son enunciados singulares que se presuponen en la contrastación para poder deducir las consecuencias observacionales de la hipótesis.

Consecuencias observacionales: son enunciados singulares deducibles de la hipótesis (en conjunción con ciertas hipótesis subsidiarias como las condiciones iniciales), los cuales expresan los hechos que deberían esperarse que sucedan a partir de la admisión de una hipótesis.

Al tomar en cuenta la siguiente hipótesis:

“Las dietas a base de hidratos de carbono producen un incremento en el peso”, es posible extraer la siguiente consecuencia observacional: “Juan incrementará su peso”, si se presupone la siguiente condición inicial: “Juan come pastas todos los días”.

Del mismo modo, pero tomando en este caso en consideración la hipótesis: “Las dietas con azúcar provocan caries”, respondan las siguientes consignas:

- a. Extraigan una consecuencia observacional de la hipótesis en cuestión. Recuerden que debe ser un enunciado singular observacional que se deduzca de las hipótesis. Tengan en cuenta, también, que no se debe describir el resultado del experimento o la observación, sino que se debe describir lo que se esperaría que ocurriera en caso de que la hipótesis fuese verdadera.
- b. Señalen alguna condición inicial presupuesta para extraer la consecuencia observacional extraída en el punto anterior (a.). Recuerden que las condiciones iniciales son singulares.

3.2. Hipótesis subsidiarias que intervienen en la contrastación

Al extraer la forma de la contrastación en el punto anterior, no tomamos en cuenta las condiciones iniciales. Estrictamente, la forma de la contrastación es algo más complicada. Habíamos dicho que el razonamiento de la refutación era así:

$$\begin{array}{r} H1 \rightarrow CO1 \\ \sim CO1 \\ \hline \sim H1 \end{array}$$

Pero en realidad, la primera premisa es distinta, está algo simplificada, porque estrictamente CO1 no se deduce solo de H1 sino de la conjunción de H1 y las condiciones iniciales. Es decir, para deducir de la hipótesis “Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte”, la consecuencia observacional “En el frasco 1 habrá gusanos”, es necesario presuponer las condiciones iniciales CI1, “Se coloca carne fresca en el frasco 1” y CI2, “Se cierra el frasco 1 con papel”.

Es la conjunción de H1, CI1 y CI2 lo que implica CO1. Dado que la primera premisa es algo más complicada, la conclusión también lo será. Recordemos que el *Modus tollens* permite negar en la conclusión el antecedente de la primera premisa, y el antecedente en este caso es una conjunción. La forma del razonamiento refutatorio sería en este caso:

$$\begin{array}{r} (H1 \cdot CI1 \cdot CI2) \rightarrow CO1 \\ \sim CO1 \\ \hline \sim (H1 \cdot CI1 \cdot CI2) \end{array}$$

Lo fundamental aquí es notar que “ $\sim (H1 \cdot CI1 \cdot CI2)$ ” no es equivalente a “ $\sim H1 \cdot \sim CI1 \cdot \sim CI2$ ”. En el segundo caso se dice que cada uno de los enunciados son falsos, mientras que en el primero se dice que los enunciados en cuestión no pueden ser todos verdaderos. Esto resulta evidente si se comparan las tablas de verdad (vistas en el capítulo II) de “ $\sim (p \cdot q \cdot r)$ ” y “ $\sim p \cdot \sim q \cdot \sim r$ ”

La primera proposición niega que toda la conjunción sea verdadera, mientras que la segunda afirma que cada una de las proposiciones puestas en conjunción son falsas. Si “ $\sim (p \cdot q \cdot r)$ ” y “ $\sim p \cdot \sim q \cdot \sim r$ ” fuesen equivalentes, los valores de las tablas de verdad coincidirían.

El *Modus tollens* nos dice, entonces, que H1 es falsa, que CI1 es falsa, CI2 es falsa o que todas lo son. Pero, entonces puede ocurrir que la falsedad de la consecuencia observacional no se deba a la falsedad de hipótesis (H1), sino a la falsedad de las condiciones iniciales (CI1 y CI2). Es decir, puede ser que sea cierto que los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte, pero que no sea cierto que, por ejemplo, se haya cerrado el frasco con papel de la manera correcta. Al no cerrarse correctamente el frasco 1, la carne no estaba en las condiciones de aislamiento necesarias como para sostener que los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la sola materia inerte.

Esto tiene una consecuencia importantísima que explica ciertas cuestiones habituales de la práctica científica. Frente a un resultado adverso, en una contrastación los científicos pueden salvar la hipótesis principal culpando de la refutación a la no ocurrencia de las condiciones iniciales. Sin embargo, si seguimos explicitando los presupuestos de la contrastación del ejemplo visto, vemos que la situación es todavía más compleja, ya que hay otras hipótesis involucradas en el proceso. Llamaremos “hipótesis subsidiarias” a todos los enunciados presupuestos en la contrastación. Repasaremos, a continuación, distintos tipos de hipótesis subsidiarias. Hasta ahora hemos estudiado solamente un tipo de hipótesis subsidiarias, que son las condiciones iniciales. A ellas, debemos sumarles las que siguen.

3.2.1. Hipótesis auxiliares

Además de enunciados singulares, existen enunciados generales que llamaremos “hipótesis auxiliares”. Las hipótesis auxiliares son enunciados generales que pueden provenir de la misma o de otras disciplinas científicas. En el ejemplo que estamos utilizando, hemos dado por hecho varias cuestiones, por ejemplo, que los gusanos surgen de huevos dejados por moscas, el método empleado para tapar los frascos es efectivo, que el papel no deja pasar moscas, etc. Lo que las distingue de las condiciones iniciales es su generalidad. “La carne utilizada en el experimento es de pollo” sería una condición inicial, puesto que es singular, mientras que “Los gusanos de moscas pueden vivir en la carne de pollo” sería una hipótesis auxiliar, puesto que es general.

De la hipótesis principal, junto con estos enunciados generales que llamamos hipótesis auxiliares, pueden obtenerse nuevas hipótesis generales en un proceso de deducción. Llamamos a este género de hipótesis generales *hipótesis derivadas*. La presencia de hipótesis derivadas nos muestra la posibilidad potencialmente infinita de deducir enunciados

generales (y no solamente consecuencias observacionales) a partir de una hipótesis principal. De esos enunciados generales, algunos tienen mayor relevancia científica que otros, pero lo que debemos destacar es que este tipo de enunciados se contraponen a las hipótesis auxiliares. Aunque hipótesis derivadas y auxiliares son enunciados generales, las primeras se siguen de la hipótesis principal y las segundas son independientes de la hipótesis principal.

3.2.2. Cláusulas *ceteris paribus*

Existe, finalmente, un tipo de hipótesis presupuesto en toda contrastación que afirma algo como “No hay factores relevantes no tomados en cuenta”.

Supongamos que cuando realizamos la experiencia con los trozos de carne, sin querer hemos tomado frascos contaminados con una sustancia que evita la proliferación de gusanos. En este caso, si observáramos que en el frasco 1 no hay gusanos, no deberíamos poner en cuestión la hipótesis principal, ni las condiciones iniciales, sino la cláusula *ceteris paribus*, pues existiría un factor relevante que no ha sido tomado en cuenta al realizar la deducción de la consecuencia observacional, la presencia de la sustancia que evita la aparición de gusanos.

3.3. Contrastación con todos los componentes señalados

Reconstruyamos la contrastación presentando, en este caso, las hipótesis subsidiarias presupuestas y explicitando los medios de experimentación:

H1: Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de materia inerte.

CP: No hay factores relevantes no tomados en cuenta.

HA1: El papel no deja pasar moscas.

HA2: Los gusanos surgen de huevos dejados por moscas.

CI1: Se coloca la carne en el frasco 1.

CI2: Se cierra el frasco 1 con papel.

CO1: En el frasco 1 habrá gusanos.

La HA1 no es una condición inicial, como vimos, porque es un enunciado general. Noten que en este caso se trata de una hipótesis que ni siquiera pertenece a la biología. Siempre hay hipótesis auxiliares acerca del material utilizado en la experimentación, o acerca de los instrumentos utilizados en la observación. Todas estas condiciones se relacionan con las cosas que hace el científico para llevar a cabo el experimento. Estas son condiciones iniciales experimentales, aunque también hay condiciones iniciales no experimentales que no tendremos en cuenta en este capítulo. La reconstrucción de una contrastación es una tarea ardua, pues son muchas las hipótesis subsidiarias presupuestas, y explicitarlas todas resulta a veces difícil. Con las hipótesis consideradas, el razonamiento de la refutación sería, entonces:

$$\begin{array}{l}
 (H1 \cdot CP \cdot HA1 \cdot HA2 \cdot CI1 \cdot CI2) \rightarrow CO1 \\
 \sim CO1 \\
 \hline
 \sim (H1 \cdot CP \cdot HA1 \cdot HA2 \cdot CI1 \cdot CI2)
 \end{array}$$

Si la consecuencia observacional resultara falsa puede ser que la refutación se deba a que la hipótesis H1 es falsa, o que alguna de las hipótesis auxiliares sea falsa, o alguna de las condiciones iniciales presupuestas, lo sea. Como veremos en la próxima sección, un científico que se encuentre convencido de la hipótesis de la generación espontánea podría dudar de alguna de las otras hipótesis intervinientes.

ACTIVIDAD 4

Hemos visto que las hipótesis contrastadas no solamente están acompañadas por las condiciones iniciales; también están acompañadas por:

Hipótesis auxiliares: enunciados generales utilizados conjuntamente con la hipótesis contrastada, cuya verdad no depende de la contrastación en la que participan, pues se suponen verdaderos a los fines de la contrastación que se está llevando a cabo.

Hipótesis *ceteris paribus*: afirma que no existen factores relevantes que no estén siendo tomados en cuenta.

- a. Consideren la siguiente hipótesis: “Las dietas ricas en sal elevan la presión sanguínea”. Indiquen las condiciones iniciales y las hipótesis auxiliares necesarias para deducir la consecuencia observacional “El tensiómetro aplicado a Carla marcó 170/100 en su indicador”. Noten que, tal vez, sea necesario indicar hipótesis auxiliares al respecto de las comidas ricas en sales, que marquen la relación entre el tensiómetro y la presión.
- b. Señalen alguna hipótesis auxiliar presupuesta que acompaña la hipótesis principal propuesta en la Actividad 3.

ACTIVIDAD 5

Un buen ejercicio para practicar la identificación de las hipótesis subsidiarias que acompañan a la hipótesis principal de una investigación consiste en apelar a la historia de la ciencia y estudiar algunos de los casos de investigación más resonantes de la ciencia empírica. Una de estas investigaciones pertenece al área de las ciencias médicas. Con su trabajo relativo a la viruela, el médico inglés Jenner fue uno de los primeros en desarrollar el principio básico que subyace a la creación de las vacunas. Lean el caso de investigación e identifiquen:²

- a. El fenómeno a explicar.
- b. La hipótesis contrastada, condiciones iniciales, consecuencias observacionales e hipótesis auxiliares.

En el siglo XVIII la viruela se había convertido en una tremenda plaga que amenazaba tanto a Europa como a América. Fue el médico inglés Edward Jenner quien, estando de visita en una granja, descubrió la manera de detener el avance indiscriminado de esta enfermedad. Jenner prestó especial atención a los comentarios de los campesinos según los cuales las mujeres

² Basado en Moledo y Magnani (2009).

ordeñadoras de vacas, que solían contraer la viruela bovina, transmitida de manera directa de las ubres de la vaca al ordeñador, no desarrollaban la peligrosa viruela humana. Tomando en cuenta esta creencia popular Jenner consideró que la presencia de pequeñas dosis del agente de la viruela bovina en un organismo podría inmunizarlo en relación con la viruela humana. Para poner a prueba esta idea, procedió de la siguiente manera. Tomó fluido linfático de la mano de una lechera infectada con viruela bovina y lo inoculó en el brazo de un niño sano de ocho años llamado James Phipps. El médico introdujo el material infectado, a través de una serie de cortes superficiales hechos en el brazo del niño. A pesar de que a las dos semanas James manifestó algunos síntomas leves de fiebre y dolor corporal, el niño nunca manifestó la enfermedad de la viruela humana. La experiencia con el joven James parecía dar aval a la idea de Jenner de que el suministro de pequeñas dosis de fluido infectado con viruela bovina generaba la inmunización del organismo para el caso de la viruela humana. Esta constituiría la primera práctica de vacunación en la historia de la ciencia, aunque Jenner no tenía idea del agente causal de la enfermedad ni del mecanismo por el cual se producía la inmunización.



Figura 1. La viruela bovina o los maravillosos efectos de la nueva inoculación.

Caricatura de James Gillray de 1802

3.4. Hipótesis *ad hoc*

Las hipótesis *ad hoc* son hipótesis que, en un caso negativo en una contrastación particular, son utilizadas al solo efecto de salvar de la refutación a la hipótesis a contrastar, negando alguna de las otras hipótesis o condiciones iniciales presupuestas en la extracción de la consecuencia observacional en juego.

Supongamos que la hipótesis auxiliar y las condiciones iniciales de nuestra contrastación estuvieran bien establecidas, pero que, pese a ello, algún biólogo deseara sostener, a toda costa, la corrección de H1. Serían ejemplos de hipótesis que podrían utilizarse para salvar de la refutación a H1:

Hah1: El papel X deja pasar a las moscas.

Hah2: El frasco 1 no ha sido correctamente cerrado con papel.

Hah3: En el frasco no se ha colocado carne.

En realidad, es posible salvar a la hipótesis “culpando” a cualquiera de las hipótesis subsidiarias presupuestas, explicitadas o no. Además, es posible “culpar” a la *ceteris paribus*, señalando algún factor no tomado en cuenta, por ejemplo, “Existe un factor relevante no considerado, se han usado frascos contaminados con una sustancia que evita la generación de gusanos”.

Sería ideal poder establecer cuándo una hipótesis *ad hoc* es adecuada y cuándo no. Lamentablemente, no existe un criterio que pueda cumplir con esta función. En los casos citados es posible idear formas independientes de contrastar la hipótesis auxiliar de manera independiente a esta contrastación (idear un experimento para ver si el papel deja pasar o no a las moscas) y evaluar la verdad de las condiciones iniciales (por ejemplo, si el frasco se encuentra bien cerrado o no). De este modo, se evalúa la adecuación de las hipótesis *ad hoc* propuestas. Es deseable, por lo tanto, que siempre se utilicen hipótesis *ad hoc* que sean contrastables independientemente del experimento en cuestión. Pero esto no siempre es posible.

Existen casos históricos en los que se han utilizado hipótesis *ad hoc* que en el momento no podían ser testeadas. Al retomar algunas cuestiones del capítulo I: *Historia de la ciencia. Dos revoluciones*, uno de los más famosos es el de la hipótesis *ad hoc* introducida por Nicolás Copérnico para explicar que el ángulo de la paralaje no se modificara con el mo-

vimiento de la Tierra. Generalmente, se simplifican las controversias científicas del pasado (Thomas Kuhn dice cosas muy interesantes al respecto, como veremos más adelante, en el capítulo IV) subestimando la inteligencia o poniendo en cuestión la buena voluntad de los científicos que se opusieron a lo que luego resultó un cambio progresivo. Así, se suele presentar a los geocentristas (los que consideraban que la Tierra se encontraba inmóvil en el centro del universo), como retrógrados, conservadores, etc. Pero cuando Copérnico propuso su sistema heliocentrista, con el Sol en el centro del universo, realmente había buenas razones para no aceptar este cambio. Una de ellas tenía que ver con lo siguiente: si la Tierra se moviera, razonaban por entonces, las posiciones de las estrellas fijas, con respecto a algún punto en la Tierra, deberían cambiar. Es decir, si en enero se fijaba un tubo a través del cual se veía cierta estrella, a los seis meses, a la misma hora, si la Tierra se movía, la estrella debería dejar de verse a través de dicho tubo (ver figura 2).



Figura 2. Lo que se debería observar si la Tierra cambiara de posición según los geocentristas.

Cuando en la época de Copérnico se realizaban tales experiencias, no se observaba que la estrella cambiase su posición (sí a lo largo del día, por supuesto, pero no a la misma hora en días distintos). Esto implicaba una refutación contundente del movimiento de la Tierra. Sin embargo, Copérnico introdujo una hipótesis ad hoc extremadamente audaz. Hasta el

momento no había razones para considerar que las estrellas, que tanto él como los ptolemaicos creían engarzadas en la esfera de las estrellas fijas, estuviesen lejos de la Tierra. Para salvar la hipótesis, Copérnico sostuvo que la esfera de las estrellas fijas estaba extremadamente lejos, de modo tal que la modificación de la posición de la estrella no era perceptible.

¿Qué razones tenía Copérnico para considerar que el universo era enorme, más grande de lo que nadie hubiera considerado hasta el momento? Únicamente que las posiciones relativas de las estrellas no se modificaban. A la larga, la conjetura de Copérnico resultó correcta. Los cambios de la paralaje fueron determinados por primera vez en el siglo XIX. Pero en el siglo XVI: ¿qué era más racional, considerar que la Tierra estaba quieta o considerar que el universo era enorme? No hay una respuesta clara. Lo interesante al respecto es que se trata de una problemática con la que se enfrentan los científicos todo el tiempo y que estuvieron discutiendo por siglos sin llegar a un acuerdo.

3.5. Holismo de la contrastación

Para concluir, si en el caso de investigación que estamos desarrollando observáramos que en el frasco 1 no aparecen gusanos, resultando falsa entonces la consecuencia observacional considerada, no se refuta una consecuencia observacional particular aislada, sino la conjunción de la hipótesis a contrastar y las hipótesis subsidiarias. Esto habilita la posibilidad de salvar la hipótesis con hipótesis ad hoc. En un caso positivo, por otra parte, no favorece a una hipótesis aislada tampoco, sino al mismo conjunto de hipótesis. Se ha llamado a esto “holismo de la contrastación”.

Holismo de la contrastación: nunca pueden contrastarse enunciados de manera aislada. Dado que las consecuencias observacionales siempre se deducen de un complejo de hipótesis, la refutación, así como la confirmación o corroboración, siempre apuntan a este complejo de hipótesis y no a uno de sus componentes en particular. En caso de refutación, lo que se refuta es el conjunto de hipótesis que se utilizaron en la contrastación, pero no podemos saber cuál o cuáles de ellas han sido las responsables.

ACTIVIDAD 6

Para los científicos que pueden ser reacios a abandonar las hipótesis que proponen como solución a un problema, existen formas de salvar a la hipótesis contrastada:

Hipótesis *ad hoc*: son hipótesis cuyo único objetivo es salvar de la refutación a una hipótesis que ha tenido un resultado negativo en la contrastación. La hipótesis *ad hoc* culpa del resultado negativo a alguna de las hipótesis subsidiarias.

Dada la siguiente hipótesis, “Las plantas no requieren de sol para sobrevivir”:

- a. Propongan una manera de contrastar tal hipótesis. Expliciten todas las hipótesis subsidiarias involucradas en la contrastación.
- b. ¿Qué hipótesis *ad hoc* podría salvar esta hipótesis en el caso de que el resultado fuera negativo?

ACTIVIDAD 7

En el siguiente caso de investigación sobre el comportamiento de los gorriones:³

- a. Enuncien el fenómeno a explicar.
- b. Identifiquen la hipótesis contrastada, al menos una hipótesis auxiliar, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Reconstruyan el razonamiento mediante el cual se refuta la hipótesis.
- d. Formalícenlo.
- e. Propongan al menos una hipótesis *ad hoc* para seguir sosteniendo la hipótesis principal.

³ Basado en Cheney y Seyfarth (2007).

Los gorriónes melódicos y los pantaneros son dos especies norteamericanas que están muy próximamente relacionadas pero que, a pesar de ello, cantan melodías muy diferentes. La pregunta que surge es cómo es que estas especies llegan a cantar de la manera en que lo hacen. Bajo la idea de que la conducta animal se produce cuando el organismo aplica ciertas restricciones mentales mínimas sobre un estímulo ambiental adecuado, muchos etólogos han sostenido que los gorriónes melódicos y pantanosos aprenden a cantar mediante la experiencia, es decir, gracias al contacto con otros gorriónes adultos cuyas canciones constituyen los estímulos ambientales adecuados para desarrollar el canto de cada especie. Contra esta idea Marler y Peters diseñaron el siguiente experimento. Tomaron un grupo de pichones de gorriónes melódicos y pantaneros y en condiciones de aislamiento en un laboratorio les hicieron escuchar grabaciones que registraban el canto de los gorriónes de ambas especies. Si la experiencia es la que rige la adquisición del canto de los gorriónes, entonces, en el caso de estos pichones melódicos y pantaneros criados en las condiciones de cautiverio presentadas, deberían desarrollar, ambas especies, los mismos cánticos dado que están expuestos a las mismas condiciones de experiencia. Además cabe mencionar que ambas especies tienen las mismas habilidades cantoras en el sentido de que ambas especies pueden producir las mismas notas. Sin embargo, pese a que este grupo de pichones de ambas especies está expuesto a los mismos estímulos ambientales y puede producir los mismos cantos, los pichones melódicos del grupo adquieren el canto de los gorriónes melódicos y los pichones pantaneros del grupo adquieren el canto de los gorriónes pantaneros. Este experimento parece mostrar que no es cierto que el canto de los gorriónes melódicos y pantaneros se desarrolle por la sola experiencia.



Figura 3. Gorrión melódico (izquierda) y gorrión pantanero (derecha)⁴.

4. El papel de la inducción en la ciencia

Existía en siglos precedentes, la presunción de que el método característico de la ciencia era el inductivo. De allí que las ciencias que hoy

⁴ Extraído de: http://es.wikipedia.org/wiki/Melospiza_melodia y http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Swamp_Sparrow.jpg

se caracterizan como fácticas eran denominadas en el siglo XIX, habitualmente, como “ciencias inductivas”. Es necesario aclarar, sin embargo, que la inducción (razonamiento no deductivo que permite inferir por medio de la generalización de enunciados singulares, enunciados generales) no puede funcionar como método de descubrimiento de las hipótesis científicas más interesantes. Pues, la mera generalización no permite introducir nuevos conceptos, mientras que las leyes científicas usualmente lo hacen (en la mecánica clásica, por ejemplo, se introduce el concepto de fuerza, o en la genética clásica, el de gen). Veamos, sobre este tema, el siguiente texto de Karl Hempel⁵:

La inducción se concibe a veces como un método que, por medio de reglas aplicables mecánicamente, nos conduce desde los hechos observados a los correspondientes principios generales. En este caso, las reglas de la inferencia inductiva proporcionarían cánones efectivos del descubrimiento científico; la inducción sería un procedimiento mecánico análogo al familiar procedimiento para la multiplicación de enteros, que lleva, en un número finito de pasos predeterminados y realizables mecánicamente, al producto correspondiente. De hecho, sin embargo, en este momento no disponemos de ese procedimiento general y mecánico de inducción; en caso contrario, difícilmente estaría hoy sin resolver el muy estudiado problema del origen del cáncer. Tampoco podemos esperar que ese procedimiento se descubra algún día. Porque -para dar sólo una de las razones- las hipótesis y teorías científicas están usualmente formuladas en términos que no aparecen en absoluto en la descripción de los datos empíricos en que ellas se apoyan y a cuya explicación sirven. Por ejemplo, las teorías acerca de la estructura atómica y subatómica de la materia contienen términos tales como «átomo», «electrón», «protón», «neutrón», «función psi», etc.; sin embargo, esas teorías están basadas en datos de laboratorio acerca de los espectros de diversos gases, trayectorias de partículas en las cámaras de niebla y de burbujas, aspectos cuantitativos de ciertas reacciones químicas, etc., todos los cuales se pueden describir sin necesidad de emplear estos «términos teóricos». Las reglas de inducción, tal como se conciben en el texto citado, tendrían, por tanto, que proporcionar un procedimiento mecánico para construir, sobre la base de los datos con que se cuenta, una hipótesis o

⁵ Extraído de: http://es.wikipedia.org/wiki/Melospiza_melodia y http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Swamp_Sparrow.jpg (Último acceso, 6 de junio de 2015).

teoría expresada en términos de algunos conceptos completamente nuevos, que hasta ahora nunca se habían utilizado en la descripción de los datos mismos. Podemos estar seguros de que ninguna regla mecánica conseguirá esto. ¿Cómo podría haber, por ejemplo, una regla general que, aplicada a los datos de que disponía Galileo relativos a los límites de efectividad de las bombas de succión, produjera, mecánicamente, una hipótesis basada en el concepto de un mar de aire? [...] No hay, por tanto, «reglas de inducción» generalmente aplicables por medio de las cuales se puedan derivar o inferir mecánicamente hipótesis o teorías a partir de los datos empíricos. La transición de los datos a la teoría requiere imaginación creativa. Las hipótesis y teorías científicas no se derivan de los hechos observados, sino que se inventan para dar cuenta de ellos. Son conjeturas relativas a las conexiones que se pueden establecer entre los fenómenos que se están estudiando, a las uniformidades y regularidades que subyacen a éstos. Las «conjeturas felices» de este tipo requieren gran inventiva, especialmente si suponen una desviación radical de los modos corrientes del pensamiento científico, como era el caso de la teoría de la relatividad o de la teoría cuántica. El esfuerzo inventivo requerido por la investigación científica saldrá beneficiado si se está completamente familiarizado con los conocimientos propios de ese campo. Un principiante difícilmente hará un descubrimiento científico de importancia, porque las ideas que puedan ocurrírsele probablemente no harán más que repetir las que ya antes habían sido puestas a prueba o, en otro caso, entrarán en colisión con hechos o teorías comprobados de los que aquél no tiene conocimiento. (Hempel, 1998, pp. 31-32)

Los filósofos que propusieron todas las categorías de análisis que hemos desarrollado en este capítulo consideraban que no existía ningún tipo de inferencia que permitiera descubrir hipótesis. Por tal motivo, en este marco se hizo la distinción entre “contexto de descubrimiento” y “contexto de justificación”. La idea básica sobre la que se construye tal distinción consiste en señalar que existen dos problemáticas completamente distintas con respecto a una hipótesis científica particular. Una, cómo el científico la descubrió, otra cómo justificó tal hipótesis. Cuestiones acerca de **cómo se llega a pensar una hipótesis científica** tienen que ver con lo que comúnmente se conoce como **“contexto de descubrimiento” de la hipótesis**. **Cuestiones acerca de la justificación de las hipótesis** son conocidas como cuestiones acerca del **“contexto de justificación” de**

las hipótesis. En el período clásico, no solo se suele sostener la idea de que tales contextos son diferenciables, sino además, que la filosofía no se ocupa del contexto de descubrimiento y sí del de justificación.

Podemos dar un ejemplo, probablemente falso: que a Isaac Newton se le ocurriera la ley de la gravitación universal al caérsele una manzana en la cabeza durante una siesta bajo un árbol, pertenecería al contexto de descubrimiento. Corresponderían al contexto de justificación los procedimientos por los cuales Newton validó esta ley. La primera cuestión puede ser abordada, bajo estos supuestos, por alguno de los otros estudios metacientíficos disponibles (psicología, historiografía, etc.); la filosofía solo podría ocuparse de lo relativo al modo en que se justifican las hipótesis.

Detrás de esta idea, está el rechazo a que existan lógicas del descubrimiento, y el presupuesto de que la filosofía de la ciencia solo se ocupa de encontrar la lógica de la investigación científica. Leamos, como ejemplo, el siguiente párrafo de Karl Popper:

Eliminación del psicologismo

He dicho más arriba que el trabajo del científico consiste en proponer teorías y en contrastarlas. La etapa inicial, el acto de concebir o inventar una teoría, no me parece que exija un análisis lógico ni sea susceptible de él. La cuestión acerca de cómo se le ocurre una idea nueva a una persona —ya sea un tema musical, un conflicto dramático o una teoría científica— puede ser de gran interés para la psicología empírica, pero carece de importancia para el análisis lógico del conocimiento científico. Este no se interesa por cuestiones de hecho (el *quid facti?* de Kant), sino únicamente por cuestiones de justificación o validez (el *quid juris?* kantiano); sus preguntas son del tipo siguiente: ¿puede justificarse un enunciado?; en caso afirmativo, ¿de qué modo?; ¿es contrastable?; ¿depende lógicamente de otros enunciados?; ¿o los contradice quizá? Para que un enunciado pueda ser examinado lógicamente de esta forma tiene que habérsenos propuesto antes: alguien debe haberlo formulado y habérsenos entregado para su examen lógico. En consecuencia, distinguiré netamente entre el proceso de concebir una idea nueva y los métodos y resultados de su examen lógico. En cuanto a la tarea de la lógica del conocimiento

—que he contrapuesto a la psicología del mismo—, me basaré en el supuesto de que consiste pura y exclusivamente en la investigación de los métodos empleados en las contrastaciones sistemáticas a que debe someterse toda idea nueva antes de que se la pueda sostener seriamente. (Popper, 1971, pp. 30-31)

La idea de que es posible comprender el funcionamiento de la ciencia prestando solo atención al contexto de justificación, será puesta en duda, por ejemplo, por autores como Kuhn. Pero sin entrar en estas críticas de Kuhn (que desarrollaremos en el capítulo IV) queda claro que, asumiendo la distinción entre contextos, la inducción no serviría para descubrir hipótesis, pero podría tener todavía un papel al justificar hipótesis descubiertas por otras vías. Esto ha generado una polémica importante respecto al funcionamiento de la inducción en el contexto de justificación.

Anteriormente, vimos que si consideráramos verificada a una hipótesis cuando una de sus consecuencias observacionales resulta verdadera, cometeríamos una falacia de afirmación del consecuente. Como mencionamos, esto implica que las hipótesis no son verificables a través de la experiencia. Pero, ¿podemos saber algo sobre la verdad de una hipótesis muy exitosa al realizar predicciones? Aquí se produjo una polémica dentro de la Filosofía de la ciencia.

Para algunos, entre los cuales se encuentran Carnap y Hempel, la verificación de consecuencias observacionales, si bien no verificaba una hipótesis, la volvía más probable por medio de un razonamiento inductivo. Es decir, cuantas más consecuencias observacionales resultaran verdaderas, más probable sería la hipótesis. Se suele decir que una consecuencia observacional “confirma” una hipótesis, para expresar la idea de que la verificación de una consecuencia observacional incrementa la probabilidad de la hipótesis, y a los autores que consideraban que esto era posible se los suele llamar hoy “confirmacionistas”. Según estos,

si bien es cierto que las hipótesis actuales no están verificadas (no está probada su verdad a partir de la experiencia), están fuertemente confirmadas (son muy probables dado su éxito empírico).

Existen otros autores, de los cuales el más famoso es Popper, que consideraban que la inducción no juega ningún papel en ninguna etapa de la investigación científica. Popper se oponía a la idea de que existieran lógicas no deductivas. Por lo tanto, que las consecuencias observacionales se cumplan, no implicarían ningún incremento en la probabilidad de la hipótesis. Cuando una consecuencia observacional de una hipótesis dada se cumple, lo único que podemos afirmar, según Popper, es que en esta oportunidad la hipótesis no se ha refutado, es decir, que ha sido “corroborada”. A los autores que consideran que las hipótesis ni se verifican ni se confirman se los conoce como “falsacionistas”. De acuerdo con ellos, lo único que podemos saber de una hipótesis es que no ha sido refutada todavía. Distinguimos entonces entre:

- Verificar: Mostrar que una hipótesis es verdadera.
- Confirmar: Mostrar que una hipótesis es más probable a través de sus predicciones exitosas.
- Corroborar: Mostrar que una hipótesis no ha sido refutada en una contrastación particular.

ACTIVIDAD 8

Cuando contrastamos una hipótesis intuitivamente creemos que solamente pueden pasar dos cosas: o la aceptamos o la rechazamos. Pero hemos hecho un análisis filosófico según el cual podría decirse que la hipótesis fue refutada, verificada, confirmada o corroborada. Este es un escenario más complejo que el de la mera aceptación o rechazo.

a. Completen los siguientes enunciados:

Refutar: mostrar que una hipótesis...
Verificar: mostrar que una hipótesis...

Confirmar: mostrar que una hipótesis...
Corroborar: mostrar que una hipótesis...

b. ¿Las hipótesis que son aceptadas en el seno de la ciencia son hipótesis verificadas? Justifiquen su respuesta.

En los ejercicios que quedan vamos a integrar todas las nociones que hemos aprendido hasta aquí: hipótesis, hipótesis auxiliares, condiciones iniciales, consecuencias observacionales, hipótesis *ad hoc*, cláusulas *ceteris paribus*... ¿qué otras nociones recuerdan?

ACTIVIDAD 9

Lean el siguiente caso de investigación⁶ y, luego, trabajen con las consignas que están a continuación:

Los conceptos sociales y el cerebro

Amistad, justicia, honor, lealtad, son algunos ejemplos de conceptos sociales los cuales incorporan información que adquirimos en nuestro contacto con la sociedad ¿Qué parte de nuestro cerebro activamos cuando usamos este tipo de conceptos? En 1922 Von Kleist formuló la hipótesis de que los conceptos sociales están representados en los lóbulos anteriores temporales superiores a partir de la evidencia que aportaban los pacientes con lesiones cerebrales en la Primera Guerra Mundial. La evidencia sugería que los pacientes que tenían dañada la región de los lóbulos temporales anteriores eran incapaces de definir, describir y ejemplificar diferentes conceptos sociales. Muchos años después, Zahn y sus colegas retomaron la hipótesis de Kleist y la pusieron a prueba de la siguiente manera. Tomaron un grupo de 26 personas y, por un lado, les pidieron que hicieran juicios sobre las relaciones de significado que hay entre pares de conceptos sociales (e.g. honor-valentía, etc.), mientras que por otro lado, les pidieron que emitieran juicios sobre las relaciones de significado que hay entre pares de conceptos no sociales (e.g. nutrición- útil, etc.). En el primer caso, la tarea exige que el sujeto use conceptos sociales, en el segundo caso, en cambio, la tarea no exige que el sujeto use conceptos sociales. Los investigadores registraron la actividad cerebral de los sujetos mientras que se desempeñaban en dichas tareas a través de imágenes por resonancia magnética funcional (MRIf). La MRIf es un procedimiento clínico y de investigación que permite mostrar en imágenes las regiones cerebrales que se activan cuando un sujeto se desempeña en una determinada tarea. Si la hipótesis de Zahn es correcta, entonces las MRIf deberían revelar primero, la activa-

⁶ Basado en Zahn et al (2007).

ción de los lóbulos temporales anteriores cuando los sujetos emiten juicios de relación de significado de pares de conceptos sociales y segundo, la no activación de los lóbulos temporales anteriores cuando los sujetos emiten juicios de relación de significado en el caso de pares de conceptos no sociales. Debido a que las MRIf arrojaron este resultado puede decirse que la hipótesis de los investigadores era correcta.

- a. Enuncien el fenómeno a explicar.
- b. Identifiquen la hipótesis contrastada, al menos una hipótesis auxiliar, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Reconstruyan formalmente con los elementos identificados en la contrastación, la falacia de afirmación del consecuente que se cometería si se pensara que el resultado positivo de la contrastación verifica la hipótesis.

ACTIVIDAD 10

Lean el siguiente caso y, luego, respondan las preguntas que están a continuación⁷:

La orientación de los murciélagos

Los primeros estudios sobre la capacidad de orientación de los murciélagos datan de fines del siglo XVIII, cuando el naturalista italiano Lázaro Spallanzani (1729-1799) y el médico y zoólogo suizo Louis Jurine (1751-1819) realizaron una serie de experimentos con estos animales. En 1793, Spallanzani encerró a una lechuza y a un murciélago en una habitación, en la que había dispuesto una serie de hilos cruzados de lado a lado, de los que colgaban campanillas, de forma que sonaran si los animales chocaban con ellos. En la penumbra ambos animales eran capaces de volar, pero cuando se hizo la oscuridad total en la habitación, Spallanzani comprobó que la lechuza se desorientaba y chocaba con los hilos y contra las paredes, mientras que el murciélago mantenía intacta su capacidad de volar. La conclusión lógica fue que la lechuza simplemente tenía una visión más sensible que la del hombre, pero que el murciélago debía de tener alguna capacidad adicional que no dependía de la iluminación. A fin de excluir completamente la visión, Spallanzani realizó un segundo experimento: quemó los ojos de los murciélagos para cegarlos completamente, y los liberó en la habitación. No solo comprobó que estos murciélagos ciegos volaban con igual facilidad, sino que, capturándolos unos días más tarde y examinando el contenido de sus estómagos, habían sido capaces de cazar insectos al

⁷ Adaptado de Seco Granja y Jiménez Ruiz (2006).

igual que sus congéneres con vista.

Spallanzani comunicó sus resultados a Jurine, quien ideó una tercera prueba: tapó los oídos de los murciélagos con bolas de cera y los liberó en una habitación que, al igual que en los primeros experimentos, contenía hilos con campanillas. Observó que la capacidad de los murciélagos de evitar obstáculos se deterioraba notablemente. Spallanzani fue capaz de replicar los hallazgos de Jurine, insertando pequeños tubos metálicos en las orejas de los murciélagos. Ambos concluyeron que el sentido del oído, y no la vista, era fundamental para que los murciélagos volaran y cazasen.

- a. ¿Cuál es el fenómeno que querían explicar Spallanzani y Jurine?
- b. Identifiquen la hipótesis que Spallanzani puso a prueba en el segundo experimento. Identifiquen también las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Reconstruyan el tercer experimento (el de Jurine). Identifiquen la hipótesis, las condiciones iniciales, la consecuencia observacional y, por lo menos, una hipótesis auxiliar.
- d. ¿Verifica el hecho de que la consecuencia observacional resulte verdadera, la hipótesis en cuestión?
- e. Si repitiéramos el experimento de Jurine y la consecuencia observacional resultara falsa, ¿necesariamente deberíamos abandonar la hipótesis? ¿Por qué?

ACTIVIDAD 11

Lean el siguiente caso y, luego, respondan las preguntas que están a continuación:⁸

Spallanzani y sus “animálculos”

Los primeros trabajos de Spallanzani (1765-1776) se refieren al origen de los animálculos en las infusiones. Hacía ya cerca de cien años que habían sido descubiertos por Leeuwenhoek y aún no se había llegado a ningún acuerdo sobre su origen. Había dos posturas predominantes: la de los partidarios de los gérmenes, quienes sostenían que los animálculos se originaban a partir de gérmenes presentes sobre la materia en descomposición o en el aire; y la de partidarios de la generación espontánea, quienes sostenían que los animálculos se generaban espontáneamente a partir de la materia inerte.

Los partidarios de la generación espontánea atribuían el origen de los animálculos a la descomposición de la materia infusa que libera moléculas orgánicas. Un sacerdote irlandés llamado Tuberville Needham alegaba en favor de esta opinión un experimento preciso y pretendidamente

⁸ Adaptado de Rostand (1966).

crucial (1745). Habiendo colocado jugo de cordero en un frasco cuidadosamente tapado, lo mantuvo durante media hora en brasa caliente con objeto de destruir a los gérmenes que —en la hipótesis antiespontaneísta— podrían encontrarse en la superficie, en el aire interior del frasco, o en el propio líquido. A pesar de esta precaución, el jugo de cordero se había poblado de animálculos en poco tiempo, los que, según Needham, sólo podía provenir de una génesis espontánea. El experimento causó mucha sensación. ¿No era ésta la solución al tan debatido problema? Era la reedición de la famosa experiencia de Redi, pero en el terreno de la vida microscópica: el calentamiento del frasco había reemplazado al papel con el que Redi sellaba los frascos. Esta vez sin embargo, para satisfacción de los espontaneístas, la exclusión voluntaria de los gérmenes no había impedido que la vida se manifestara.

Toda la cuestión se reducía a saber si el ingenioso experimento de Needham era correcto. Para asegurarse de ello Spallanzani se propuso reproducirlo aplicando con más rigor los procedimientos de exclusión de los gérmenes, es decir, utilizando frascos mejor tapados y un calentamiento más prolongado. En estas nuevas condiciones, el resultado fue completamente diferente, los animálculos no aparecieron en absoluto.

Una prolongada discusión se estableció entonces entre ambos experimentadores. Needham sostenía que, modificado de este modo, el experimento perdía su significado, puesto que el calentamiento excesivo practicado por Spallanzani tenía, por un lado, el efecto de destruir la «fuerza genésica» o «vegetativa» de las infusiones y, por el otro, el de producir en el aire interior de los frascos una alteración que imposibilitaba la vida de los animálculos. Needham se encontraba en un completo error por lo que se refería a la génesis espontánea, pero sus objeciones no eran desde luego absurdas y, en el estado en que se hallaba entonces la ciencia, era casi imposible realizar un experimento susceptible de zanjar la cuestión disipando todo equívoco.

- a. Enuncien el problema a resolver (es decir, el dato observacional que quiere ser explicado) y las dos hipótesis en competencia para su explicación.
- b. Reconstruyan el experimento de Needham como refutatorio de la hipótesis de que los animálculos provienen de gérmenes dejados por otros animálculos. Señalen la hipótesis que pone a prueba Needham, las hipótesis auxiliares, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Enuncien las hipótesis ad hoc con las que Spallanzani salva a la hipótesis que parecía refutada por Needham.

- d. Reconstruyan el experimento de Spallanzani como refutatorio de la hipótesis de que los animáculos se generan espontáneamente. Identifiquen hipótesis, hipótesis auxiliares, condiciones iniciales y consecuencia observacional.
- e. Enuncien la hipótesis *ad hoc* con la que Needham salva a la hipótesis espontaneísta de la refutación. ¿A qué hipótesis presupuesta en la contrastación, culpa Needham del resultado negativo?

ACTIVIDAD 12

En los siguientes casos de investigación:

- a. Identifiquen el fenómeno a explicar.
- b. Identifiquen la hipótesis contrastada, al menos una hipótesis auxiliar, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Respondan: ¿qué ocurre con la consecuencia observacional? y ¿cuál es el resultado de la contrastación?
- d. En el caso de que se trate de una refutación, propongan al menos una hipótesis *ad hoc* para salvar la hipótesis principal.

El descubrimiento de la penicilina⁹

La penicilina es un género de antibióticos empleado profusamente en el tratamiento de infecciones provocadas por bacterias. Su descubrimiento fue uno de los grandes acontecimientos científicos del siglo XX que cambió de manera definitiva a la medicina. Fue Fleming quien por casualidad reveló al mundo los poderes de la penicilina en el año 1928. Por aquella época, el investigador estudiaba cultivos bacterianos de *Staphylococcus aureus* en el laboratorio del Hospital de St. Mary de Londres. Luego de ausentarse por un mes del laboratorio, al regresar observó que muchos de sus cultivos bacterianos estaban contaminados con hongos, razón por la cual tiró la mayoría de ellos. Sin embargo, no los tiró todos y al observar con mayor detenimiento a los cultivos contaminados que aún le restaban se percató que alrededor del hongo contaminante se había creado un halo de transparencia, lo que indicaba la destrucción de las bacterias del cultivo. El hongo presente en estos cultivos era el *Penicillium notatum* y la observación inmediata parecía indicar que la sustancia procedente de este hongo, denominada penicilina por Fleming, eliminaba al *Staphylococcus aureus*. Este suceso hizo pensar a Fleming en la idea más general de que la penicilina produce el retroceso de las infecciones bacterianas. Fueron Florey y Chain quienes, pocos años más tarde, pusieron a prueba esta idea. A diferencia de Fleming, estos investigadores lograron extraer, filtrar y purificar del hongo *Penicillium notatum* grandes cantidades de la penici-

⁹ Basado en <http://en.wikipedia.org/wiki/Penicillin>. (Último acceso 6 de junio 2015).

lina mediante un sistema a contracorriente y extracción por amil acetato. Habiendo librado a la penicilina estudiada de todo resto de impureza la inyectaron en un grupo de ratones que estaban infectados con *Streptococcus*. Observaron que la infección bacteriana de los ratones disminuía, lo cual indicaba que la hipótesis propuesta por Flemming era acertada. Gracias a estos hallazgos en el año 1945, Fleming, Florey y Chain recibieron el premio Nobel de medicina.



Figura 4. Sello de las Islas Feroe en honor de Alexander Fleming¹⁰

Las relaciones sociales de los monos babuinos¹¹

Entre los monos babuinos las relaciones sociales están fuertemente basadas en las jerarquías que ocupan los integrantes de un grupo. La jerarquía que tiene un individuo en un grupo de babuinos se mantiene por años y está en la base de las alianzas, amistades, enfrentamientos, etc. ¿Sería una forma de antropomorfismo creer que los babuinos tienen un conocimiento social sofisticado mediante el cual reconocen cuál es el lugar social que ocupan sus compañeros? Silk ha mostrado mediante un interesante experimento que esta no es una afirmación antropomorfista y que, efectivamente, los babuinos reconocen el rango jerárquico que ocupan los otros individuos de su grupo. El babuino A no sólo reconoce que es subordinado respecto de B y dominante respecto de C, por ejemplo, sino que también reconocería, por ejemplo, que B es dominante respecto de D, y C es subordinado respecto de E.

Para entender el experimento de Silk habría que presentar algunas cuestiones previas. El experimento toma en consideración ciertos tipos de vocalizaciones que emiten las hembras. La mayoría de las vocalizaciones de los babuinos son distintivas en el sentido de que no solamente permiten a sus compañeros extraer información de lo que está ocurriendo, sino que también les permiten identificar qué status jerárquico tiene quien emite la vocalización. El experimento apela a dos tipos particulares de vocali-

¹⁰ Extraído de: http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Fleming. (Último acceso 6 de junio 2015).

¹¹ Basado en Cheney y Seyfarth (2007) (Último acceso 6 de junio 2015).

zación: los gruñidos y los gritos de miedo. Cuando una hembra de menor jerarquía se acerca a una hembra de mayor jerarquía la última suele emitir un gruñido que indica su carácter dominante. El gruñido es un tipo de vocalización que indica a los demás monos de manera precisa que quien lo emite es un miembro de mayor jerarquía en el grupo. Frente al gruñido de la hembra de mayor jerarquía la hembra de jerarquía inferior suele proferir gritos de miedo que manifiestan su sumisión. El grito de miedo, por su parte, es un tipo de vocalización que indica a los babuinos de manera no ambigua que quien lo emite es una hembra de menor jerarquía. El experimento de Silk fue diseñado tomando en cuenta lo que los psicólogos llaman —la violación de las expectativas—. La lógica de los experimentos de violación de la expectativa es la siguiente. Si se quiere saber si un organismo sabe *p*, se le presenta evidencia de que *p* es verdadero y en este caso el organismo no demuestra sorpresa alguna. Luego, en un test que sea lo más similar posible al anterior, se le presenta evidencia de que *p* es falso, y en tal caso el organismo debería responder con sorpresa porque la evidencia presentada varía respecto de lo que él considera verdadero.

Bajo esta perspectiva Silk realizó la siguiente experiencia. A 18 hembras se les hizo escuchar a través de parlantes grabaciones con dos tipos de secuencias de vocalizaciones. En el primer tipo de secuencia de vocalizaciones se escucha primero que la hembra A, de menor jerarquía, gruñe, segundo, que la hembra B, de mayor jerarquía grita de miedo, y tercero, que la hembra C, de una jerarquía superior a la de la hembra B, gruñe. Esta secuencia de sonidos es normal en tanto que es consistente con las relaciones de dominancia de estas hembras. Es una situación concebible que la hembra B grite de miedo demostrando su sumisión respecto de la hembra C. En el segundo tipo de secuencia de sonidos sólo se escucha el gruñido de la hembra A, y el grito de miedo de la hembra B. Esta secuencia de sonidos es anormal dado que plantea un escenario poco frecuente en el cual una hembra de menor jerarquía profiere sonidos amenazantes para con una hembra de mayor jerarquía y la última responde con un grito de subordinación. Lo que debería esperarse cuando las hembras estudiadas escuchan estas secuencias de sonidos es que, en el primer caso, no presenten sorpresa alguna, y que, en cambio, en el segundo caso evidencien sorpresa frente a una secuencia anormal de sonidos. Efectivamente, las hembras babuino presentaron estos patrones de conducta. Cuando se les presentaron las secuencias de sonidos normales apenas prestaron atención a los parlantes, pero cuando se les presentaron las secuencias de sonidos anormales permanecían más tiempo mirando los parlantes, lo cual significa que estaban sorprendidas. Esto indicaría que las hembras testeadas

reconocen cuál es la jerarquía que ocupan otros integrantes del grupo. Por eso cuando escuchan vocalizaciones que no parecen corresponderse son el status social de quien la emite se muestran sorprendidas.

Sobre la existencia del éter¹²

Una de las principales afirmaciones del enfoque heliocéntrico era que la Tierra se movía y que lo hacía a través de un elemento sutil y ligero que era el éter. Aunque ésta era una hipótesis fuertemente sostenida por el heliocentrismo hubo que esperar hasta fines del siglo XIX para ponerla a prueba. Michelson y Morley imaginaron un experimento que tomaba en cuenta ciertas cuestiones respecto de los pulsos de luz. Lo cierto es que a fin del siglo XIX las teorías físicas de la luz habían cambiado profundamente gracias a los aportes de Maxwell. Maxwell sugirió que la luz era una onda electromagnética, es decir, una serie de campos eléctricos y magnéticos que vibraban y se perseguían. En aquella época parecía difícilmente concebible que una onda (electromagnética o de cualquier tipo) se propagase en el vacío sin ningún medio material que hiciera de soporte. Por ejemplo, para que una onda sonora se propague se necesita de un medio físico que puede ser el aire o el agua. Maxwell razonó que lo mismo sucedería con la luz, de manera que postuló que la luz es una onda electromagnética que podría estar propagándose a través del éter. Pero el éter no sólo sería el medio a través del cual se propaga la luz sino que también sería el elemento que atraviesa la Tierra cuando se traslada.

Tomando en cuenta todo lo anterior, Michelson y Morley pensaron de la siguiente manera. En aquel entonces era ampliamente aceptada la idea de que a medida que avanzaba la Tierra se generaba un —viento de éter que choca contra ella de la misma manera que el aire choca contra un auto que avanza a toda velocidad por una ruta. Si la Tierra se mueve a través del éter generando un viento de éter y se proyecta la onda de luz A en contra de la dirección del viento de éter así como también se proyecta la onda de luz B en la misma dirección del viento de éter, entonces, el viento de éter retrasará la propagación de la onda de luz A mientras que no habrá ningún retraso en la propagación en la onda de luz B. Para entender por qué en el primer caso habría retraso y en el segundo caso no, imagínese una persona caminando en contra de un fuerte viento y a otra caminando a favor de dicho viento. Es evidente que mientras que la primera persona tendrá dificultades para avanzar, la segunda podrá hacerlo sin dificultades. Por razones parecidas, la onda de luz A, que va en contra del viento de éter generado por la Tierra cuando se mueve, tendrá dificultades en su

¹² Basado en Moledo y Magnani (2009).

propagación cosa que no sucede con la onda de luz B que avanza junto con el viento de éter. El interferómetro era el instrumento que los investigadores utilizaron para medir el supuesto retraso de la luz que se propaga en contra del viento de éter. Su funcionamiento se basa en la división de un único rayo de luz en dos haces para que recorran caminos diferentes y luego converjan nuevamente en un punto. El recorrido de uno de los rayos era a favor del viento de éter y el del otro era en contra del viento de éter. Ambos rayos se reflejaban en espejos con el objetivo de que vuelvan a un mismo punto. Lo esperado era que el rayo cuyo recorrido estaba a favor del viento de éter llegaría antes que el otro.

Sin embargo, Michelson y Morley no observaron retraso alguno, a pesar de las repetidas veces que realizaron la experiencia. Ambos rayos de luz llegaban al mismo tiempo lo cual parecía indicar que no es cierto que la Tierra se mueva a través del éter. Dicho más explícitamente, si no hay retraso, no hay viento de éter que lo produzca, si no hay viento de éter, no existe el éter y si no hay éter no puede decirse que la Tierra se mueve a través de este elemento. El experimento de Michelson y Morley es el experimento fallido más famoso de la física, porque, a pesar de las intenciones originales de los investigadores, parecía indicar cosas totalmente innovadoras. Por un lado, parecía indicar que el éter no existe, pues si lo hiciera habría un viento de éter y el viento de éter quedó descartado dados los resultados que arroja el interferómetro. Por otro lado, el experimento parecía abrir la posibilidad de que la luz se propague siempre a la misma velocidad en el vacío, una idea fundamental en la teoría de la relatividad de Einstein.



Figura 5. Interferómetro de Michelson¹³.

¹³ Extraído de: http://museovirtual.csic.es/coleccion/daza_valdes/fichas/daza9.htm. (Último acceso 6 de junio de 2015).

Síntesis del capítulo

Hemos llegado al final del presente capítulo y es hora de hacer una rápida retrospectiva de lo que hemos aprendido. Vimos que las hipótesis científicas son enunciados que ofrece un científico para explicar un fenómeno del cual no sabemos su valor de verdad. Por eso suele decirse que las hipótesis son enunciados conjeturales. Todo el objetivo del científico es determinar cuál es el valor de verdad de dicho enunciado y es por eso que somete a su hipótesis a un proceso arduo de puesta a prueba.

Para analizar filosóficamente la instancia de puesta a prueba de una hipótesis, además de las herramientas de la lógica que hemos presentado en el capítulo II, necesitamos de manera preliminar introducir una serie de distinciones entre tipos de conceptos que constituyen un enunciado, y tipos de enunciados científicos (enunciados básicos, generalizaciones empíricas y enunciados teóricos). Estas distinciones nos permitirán analizar la forma en que se contrastan las hipótesis; aunque solamente analicemos la contrastación de hipótesis no probabilísticas.

Notamos que para contrastar una hipótesis el científico tenía que deducir de la misma una o más consecuencias observacionales, donde entendimos por consecuencia observacional un enunciado singular y observacional que se sigue de la hipótesis y que expresa los hechos que deberían esperarse que sucedan a partir de la admisión de una hipótesis. Pero la hipótesis no está sola en la deducción de las consecuencias observacionales. A ella la acompañan una serie de enunciados que hemos denominado “hipótesis subsidiarias”: las condiciones iniciales, las hipótesis auxiliares, las cláusulas *ceteris paribus*. Las condiciones iniciales son enunciados singulares en los que se expresa el estado de cosas en el mundo que debe darse para que, asumiendo la hipótesis puesta a prueba, tenga lugar la consecuencia observacional. Por el contrario, las hipótesis auxiliares son enunciados generales cuya verdad no depende de la con-

trastación en la que participan, pues se suponen verdaderos a los fines de la contrastación que se está llevando a cabo. Las hipótesis *ceteris paribus* son enunciados en los que se afirma que no existen factores relevantes que no estén siendo tomados en cuenta.

Al tener presentes todos estos elementos, vimos que la situación en que una hipótesis resulta ser refutada puede reconstruirse lógicamente como un *Modus tollens*. En este caso, es correcto afirmar que la hipótesis fue refutada debido a que la consecuencia observacional fue refutada. Sin embargo, el caso inverso presenta problemas desde el punto de vista de la lógica, razón por la cual la contrastación es asimétrica. En el caso en que la hipótesis resulte exitosa, es incorrecto afirmar que debido a la verificación de la consecuencia observacional también la hipótesis queda verificada, puesto que se cometería una falacia de afirmación del consecuente.

También, vimos que los científicos disponen de estrategias *ad hoc* para salvar a una hipótesis de la refutación. Disponen más específicamente de las hipótesis *ad hoc* que son hipótesis cuyo único objetivo es salvar de la refutación a una hipótesis que ha tenido resultados negativos en la contrastación, culpando a alguna de las hipótesis subsidiarias. Este tipo de estrategias ponen en evidencia que cuando se contrasta una hipótesis nunca se lo hace de manera aislada, sino que se la contrasta en conjunto con todas las hipótesis subsidiarias. Esto es lo que denominamos holismo de la contrastación. Este holismo no nos permite distinguir con claridad cuál fue el elemento en concreto que nos ha llevado a una consecuencia observacional falsa: ¿la hipótesis misma?, ¿las condiciones iniciales?, ¿las hipótesis auxiliares?...

Por último, indagamos cuál es el estatus de la inducción en el momento de poner a prueba las hipótesis científicas. Vimos que para los filósofos que han estudiado el tema de la contrastación de hipótesis, las hipótesis

son producto exclusivo de la imaginación del científico. La creación de una hipótesis no es un proceso inductivo de ningún tipo. Sin embargo, ¿tiene la inducción algún papel cuando, una vez que la hipótesis ha sido propuesta, tiene que someterse a prueba? Aquí surgen dos posibles enfoques: el confirmacionismo (que le da un papel importante a la inducción en la contrastación de hipótesis) y el falsacionismo (que no le da ningún papel a la inducción en la contrastación de hipótesis). Si bien, ninguno de estos enfoques admite la posibilidad de que las hipótesis contrastadas y aceptadas sean verificadas (por las razones expuestas en el tema de la asimetría de la contrastación), ambos proponen dos maneras diferentes de entender la situación en que una hipótesis pasa exitosamente la situación de contrastación. Para los confirmacionistas, en este caso la hipótesis resulta confirmada, es decir, la hipótesis es más probable a través de sus predicciones exitosas. Para los falsacionistas, la hipótesis resulta ser corroborada, es decir, no ha sido refutada en una contrastación particular.

Todos lo visto en este capítulo nos permitió analizar pormenorizadamente la contrastación de hipótesis no probabilísticas (la contrastación de hipótesis probabilísticas es bastante más compleja). Pero es importante señalar que el conocimiento científico no está formado por hipótesis aisladas, sino por teorías científicas. Las teorías científicas son entidades más complejas que las hipótesis. En los enfoques más clásicos, como el de Popper o el de Hempel, la contrastación de teorías se llevaba a cabo del mismo modo que la contrastación de hipótesis. Como veremos, esta idea será puesta en duda más adelante. La manera clásica de entender la noción de “teoría científica” es en tanto conjunto de enunciados deductivamente relacionados entre sí. Pero esta no ha sido la única forma de entender a las teorías. En el próximo capítulo: *Estructura y cambio de teorías: diferentes perspectivas filosóficas*, analizaremos los pormenores del análisis que los filósofos han hecho de esta nueva unidad de análisis, que es la teoría científica.

Para ampliar

Para profundizar en el tema de la contrastación de hipótesis, es recomendable leer Díez y Moulines (1997). Aunque la temática está presentada de una manera ligeramente diferente, también es interesante leer un texto clásico sobre el tema como lo es Hempel (1998). Aunque sigue algunas de las categorías de Hempel (1998), que no hemos desarrollado del todo en este capítulo, Destéfano (2010) también puede servir como bibliografía ampliatoria sobre el tema.

Para tener ejemplos de investigaciones en el campo de la medicina, se pueden ver los documentales *Pioneros de la medicina*, http://www.encuentro.gob.ar/sitios/encuentro/programas/detallePrograma?rec_id=117887 donde se recorren hitos de la medicina como la invención de la anestesia, el hallazgo de remedios a través de la autoexperimentación, etc. Allí se encuentran algunas de las investigaciones médicas más representativas con las que se pueden trabajar las categorías desarrolladas en este capítulo.

Otro caso de investigación con el que se pueden trabajar las nociones de este capítulo está en la película del director George Miller (1992), *Un milagro para Lorenzo*. Lorenzo sufre una enfermedad llamada ALD, que además de sordera, ceguera y dificultades para tragar y comunicarse, causaba la muerte. La película cuenta la odisea científica y personal que médicos y familiares de Lorenzo vivieron para descubrir la cura de esta enfermedad.

Bibliografía

CHENEY, DOROTHY y Seyfarth, Robert (2007), *Baboon Metaphysics. The Evolution of a Social Mind*. Chicago, CUP.

DESTÉFANO, MARIELA (2010), La frontera de lo científico marcada por el método hipotético-deductivo, en Pedace, Karina y Riopa, Christian

(Eds.), *Cuestiones epistemológicas. Una introducción a la problemática científica*, Buenos Aires, Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján.

DÍEZ, JOSÉ A. y Moulines, Carlos U. (1997), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona, Ariel.

HEMPEL, KARL (1998, [1973]), *Filosofía de la Ciencia Natural*, Madrid, Alianza Editorial.

MOLEDO, LEONARDO y Magnani, Esteban (2009), *Diez teorías que conmovieron al mundo. De Copérnico al Big Bang*, Buenos Aires, Capital Intelectual.

POPPER, KARL (1971), *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos.

ROSTAND, JEAN (1966), *Introducción a la historia de la biología*, Madrid, Ediciones Península.

SECO GRANJA, FERNANDO y Jiménez Ruiz, Antonio (2006), *Visión ultrasónica de los murciélagos, Seminario de Sistemas Inteligentes SSI2006*, Libro de actas, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.

ZAHN, RAINER et al. (2007), Social concepts are represented in the superior anterior temporal cortex, *PNAS* 104, (nº 15, pp.6430-6435).

Capítulo IV

ESTRUCTURA Y CAMBIO DE TEORÍAS: DIFERENTES PERSPECTIVAS FILOSÓFICAS

Introducción

En el capítulo III: *Conceptos, hipótesis y contrastación*, llevamos a cabo un análisis pormenorizado de la forma en que se contrastan hipótesis científicas sencillas. Sin embargo, el conocimiento científico no es un simple cúmulo de hipótesis aisladas. Ni Ptolomeo, ni Copérnico, ni Lamarck, ni Darwin formularon meras hipótesis. Propusieron marcos conceptuales complejos con los cuales tratar los fenómenos de los que pretendían dar cuenta. Los científicos suelen llamar a estos conglomerados de conocimiento “teorías”.

¿Qué es una teoría científica?

Esta pregunta es central para la Filosofía de la ciencia y por supuesto tiene una diversidad de posibles respuestas. En parte, los debates y diferencias entre perspectivas filosóficas acerca de la ciencia, tienen su eje en el modo en que interpretan o en el significado que asignan a la noción de “Teoría científica”. En este capítulo se propone un recorrido por algunas de las perspectivas más importantes del siglo XX, destacando aspectos fundamentales de cada una de ellas y recuperando en algunos tramos las voces de sus propios representantes.

Comenzaremos presentando la concepción del Empirismo lógico, en la que surge la *noción clásica de teoría científica*, entendida como un conjunto de hipótesis de cierto tipo, unidas por relaciones deductivas. Veremos, luego, una serie de críticas que se hicieron a este enfoque.

En los años sesenta aparecen planteos que se opusieron al tipo de abordaje predominante hasta el momento. Tales autores opinaban que los filósofos de la ciencia debían darle más importancia a lo que de hecho ocurría en historia de la ciencia. Kuhn ha sido el autor más influyente de ese período, y nos detendremos especialmente en su concepción de la ciencia y del cambio científico. Finalmente, de todos los enfoques que actualmente son sostenidos en la Filosofía de la ciencia, veremos la concepción del Estructuralismo metateórico. Se trata de un enfoque que reúne en su seno muchas de las características de las perspectivas anteriores.

1. Empirismo lógico

El Empirismo lógico es uno de los movimientos filosóficos más influyentes del siglo XX tanto por las adhesiones como por los rechazos provocados. En el centro de este movimiento se encontraron los filósofos y científicos que conformaron el denominado “Círculo de Viena”, responsables principales del afianzamiento de la filosofía de la ciencia como actividad profesional autónoma.

El Círculo de Viena surgió en 1922 organizado por el filósofo alemán Moritz Schlick (1882-1936). Los miembros más famosos del Círculo fueron Rudolph Carnap (1891-1970), Otto Neurath (1882-1945) y Kurt Gödel (1906-1978), pero se trataba de un grupo numeroso con interés en la reflexión acerca de la ciencia. Una de las particularidades de los miembros del Círculo de Viena, frente a la forma de trabajo individualista de los filósofos más tradicionales, era que trabajaban en equipo.

Probablemente, en esta característica se encuentre parte de su éxito en cuanto a resultados obtenidos. En 1929 el grupo se dio a conocer con la aparición de un manifiesto que titularon “La concepción científica del mundo. El Círculo de Viena”. En el Manifiesto queda claro que los objetivos del grupo no son meramente académicos, sino también de naturaleza política. La consideración de tales objetivos, como veremos, permite comprender mejor sus tesis filosóficas respecto a la ciencia.

La orientación política de sus investigaciones queda plasmada en el siguiente fragmento del Manifiesto:

Con el transcurso de los años se formó en torno a Schlick un Círculo cuyos miembros unieron distintos esfuerzos en la dirección de una concepción científica del mundo. A través de esta concentración se produjo una fructífera estimulación mutua. [...] Ninguno de ellos es de los así llamados filósofos “puro”, sino que todos han trabajado en algún ámbito científico particular. Ellos provienen, más precisamente, de diferentes ramas de la ciencia y originalmente de distintas posiciones filosóficas. Con el transcurso de los años, sin embargo, apareció una creciente unidad; esto también fue el efecto de la orientación específicamente científica: “lo que se puede decir [en lo absoluto], se puede decir claramente” (Wittgenstein); en las diferencias de opinión es finalmente posible, y de allí que se exija, un acuerdo. [...] También se reconoce un acuerdo notable en las cuestiones de la vida, aun cuando estos asuntos no estuvieron en el primer plano de los temas discutidos dentro del Círculo. No obstante, esas actitudes tienen una afinidad más estrecha con la concepción científica del mundo de lo que pudiera parecer a primera vista desde un punto de consideración puramente teórico. Así muestran, por ejemplo, los esfuerzos hacia una nueva organización de las relaciones económicas y sociales, hacia la unión de la humanidad, hacia la renovación de la escuela y la educación, una conexión interna con la concepción científica del mundo; se muestra que estos esfuerzos son afirmados y vistos con simpatía por los miembros del Círculo, por algunos también activamente promovidos. (Hahn, Neurath y Carnap, 2002)

Con el ascenso del nazismo, muchos de los miembros habían comenzado a tener problemas por sus posiciones políticas o por su origen judío y algunos terminaron emigrando, por ejemplo, a Estados Unidos (entre

ellos, Carnap). Allí, se consolidó una perspectiva, sin las aristas políticas y los debates teóricos y filosóficos característicos del grupo de origen, pero heredera indiscutible de los estudios iniciados en ese marco. Esta se volvió hegemónica en los países anglosajones entre 1940 y 1960 y es conocida como Concepción heredada o estándar o Concepción clásica de las teorías científicas¹.

1.1.Principales influencias sobre el Empirismo lógico

El Empirismo lógico es una posición que dialoga y discute con posiciones filosóficas anteriores, en particular la de los filósofos empiristas y la de los filósofos logicistas.

En relación con el empirismo, es necesario remitirse a una antigua discusión en Filosofía respecto al fundamento y el origen lógico del conocimiento. Los empiristas consideran que el conocimiento proviene y se fundamenta en la experiencia sensible. Por su parte, los racionalistas consideran que todo conocimiento proviene de y se fundamentaba en la razón. El acceso al conocimiento se da a través de mecanismos independientes de la experiencia, como el recuerdo o la intuición. Estas serían posiciones extremas, pues en general, la mayoría de los autores aceptan alguna posición intermedia entre estos dos extremos. A los empiristas lógicos puede considerárselos como los principales representantes del empirismo contemporáneo. En muchos aspectos son herederos claros de la filosofía del escocés David Hume (1711-1776). Como empiristas consideraban que todos los conceptos que uno poseía provenían de la experiencia y, además, que no era posible conocer del mundo a través del pensamiento puro. Sin embargo, como Hume, y a diferencia de otros empiristas como el filósofo inglés John Stuart Mill (1806-1873), consideraban que las verdades matemáticas no se justificaban a partir de la experiencia.

¹ Para acceder a la historia de la filosofía de la ciencia durante el siglo XX y las influencias que la política tuvo sobre ella, puede leerse el libro de Reisch (2009).

En relación con el logicismo, parte de la novedad de la concepción la constituye el lugar principal que se le asigna a la lógica. Por un lado, bajo la influencia de pensadores como Bertrand Russell (1872- 1970) y Ludwig Wittgenstein (1889-1951), concebían que la tarea principal de la filosofía consistiera en clarificar los conceptos del lenguaje científico. Al seguir a estos pensadores, en un comienzo, los empiristas lógicos sostenían que esta clarificación se reducía al análisis lógico (meramente sintáctico). Sin embargo, posteriormente, se vio la necesidad de recurrir al análisis semántico (que tiene en cuenta el significado y no solo la forma lógica de los enunciados) y pragmático (que tiene en cuenta cuestiones relacionadas con el uso de esos enunciados).

La fuerte importancia que la lógica asumía en sus puntos de vista tiene que ver con que la lógica moderna (como la lógica proposicional simbólica que fue presentada en el capítulo II) era de reciente elaboración y se mostraba como una herramienta poderosísima. Esta lógica había sido desarrollada por Gotlob Frege (1848- 1925) y Bertrand Russell, entre otros, en su intento de mostrar que la matemática no era más que una rama de la lógica. El programa de reducción de matemática a la lógica, conocido como “logicismo”, resultaría fallido.

1.2. Acerca de “la concepción científica del mundo” y sus objetivos

El objetivo principal del Círculo de Viena, como decíamos, consistió en la clarificación del lenguaje científico, que implicaba, por un lado, la eliminación de la metafísica –tal como ellos la concebían–, y, por otro, la elaboración de un lenguaje universal artificial diferente del lenguaje natural o cotidiano.

Como decíamos antes, la clarificación del lenguaje científico no era un fin en sí mismo, pues en realidad se trataba de un medio para alcanzar objetivos políticos. La meta ulterior de la clarificación del lenguaje de la ciencia era colaborar, tanto con la comunicación entre científicos, así como con la comunicación de la ciencia a la sociedad. Pues, **el conocimiento científico sería aquel que llevaría al progreso social y económico.**

Veamos cómo se presenta esta cuestión en el siguiente fragmento del Manifiesto:

La concepción científica del mundo no se caracteriza tanto por sus tesis propias, como más bien por su posición básica, los puntos de vista, la dirección de la investigación. Como objetivo se propone la ciencia unificada. El esfuerzo es aunar y armonizar los logros de los investigadores individuales en los distintos ámbitos de la ciencia. De esa aspiración se sigue el énfasis en el trabajo colectivo; de allí también la acentuación de lo aprehensible intersubjetivamente; de allí surge la búsqueda de un sistema de fórmulas neutral, de un simbolismo liberado de la escoria de los lenguajes históricamente dados; y de allí también, la búsqueda de un sistema total de conceptos. Se persiguen la limpieza y la claridad, rechazando las distancias oscuras y las profundidades inescrutables.

En la ciencia no hay “profundidades”, hay superficie en todas partes: todo lo experimentable forma una red complicada no siempre aprehensible en su totalidad, sino que a menudo sólo comprensible por partes. Todo es accesible al hombre y el hombre es la medida de todas las cosas. [...]

Para la concepción científica del mundo no hay enigmas insolubles. La clarificación de los problemas filosóficos tradicionales nos conduce, en parte, a desennascararlos como pseudo-problemas y, en parte, a transformarlos en problemas empíricos y de allí a someterlos al juicio de la ciencia de la experiencia. En esta clarificación de problemas y enunciados consiste la tarea del trabajo filosófico y no en el planteamiento de enunciados “filosóficos” propios.

Como se afirma en el texto precedente, los objetivos señalados y un acuerdo básico y general respecto a los medios, era lo que unificaba las posiciones de los diferentes miembros del Círculo.

La tarea de la *clarificación del lenguaje* de la ciencia, era concebida por ellos como la traducción de toda la ciencia a un *lenguaje universal* en el que se presentara una ciencia unificada. El ideal de la ciencia unificada no debe relacionarse con pretensiones reduccionistas (la idea de que toda la ciencia se reduce a alguna de sus disciplinas, o que en el futuro así será), sino con la posibilidad de crear un lenguaje común a toda la ciencia que facilitara el diálogo entre científicos de diferentes ramas y de científicos con el resto de la sociedad. El modo de llevar adelante el ideal de la ciencia unificada también fue variando a lo largo de la historia del empirismo lógico, pero en un comienzo tuvo que ver con la adopción de un lenguaje al que llamaban “fiscalista”, en el sentido de lenguaje de los eventos del mundo físico, al cual todo el lenguaje de las diversas ciencias pudiese ser traducido. Posteriormente, la traducibilidad de teorías científicas entre sí y la traducibilidad a un mismo lenguaje fue fuertemente atacada por los filósofos historicistas, como veremos especialmente cuando tomemos en consideración las ideas de Thomas Kuhn.

A manera de los empiristas del siglo XVII (como el ya mencionado Hume o John Locke), los empiristas lógicos tenían una fuerte tendencia antimetafísica. Para que el lenguaje universal pudiera cumplir con el rol pretendido de facilitar la comunicación de la ciencia, debía encontrarse libre de metafísica.

¿En qué consiste la metafísica según estos pensadores?

Los empiristas lógicos consideraban que los únicos enunciados con significado cognoscitivo (es decir, que constituían conocimiento) eran los que proporcionaba la ciencia fáctica, es decir, aquellos que podían relacionarse de algún modo con la experiencia, y los enunciados analíticos de las ciencias formales, como la matemática o la lógica. Un enunciado es analítico si su verdad depende del significado mismo de los conceptos que figuran en él, como en el caso de las definiciones (“los solteros

no están casados”) o bien en virtud de su propia forma, como en el caso de las tautologías. Los enunciados de las ciencias fácticas además de significado cognoscitivo, tenían significado empírico. Si bien, la forma en que estos enunciados se vinculaban con la experiencia fue variando con el tiempo, se puede resumir y simplificar la posición señalando que solo tienen significado empírico aquellos enunciados que es posible contrastar con la experiencia. El resto de los enunciados o eran analíticos o bien carecían de significado cognoscitivo.

Así, el criterio de significado cognoscitivo brindado por los empiristas lógicos sería el siguiente:

- Un enunciado tiene significado cognoscitivo si es analítico o contrastable con la experiencia.

Que un enunciado no tuviera significado cognoscitivo no implicaba que careciera de significado en absoluto, pues según ellos existían otros tipos de significado, como el emotivo. Frases como “El universo de esta noche tiene la vastedad del olvido y la precisión de la fiebre”, en este sentido, no tendría significado cognoscitivo, pues, no serían contrastables por medio de la experiencia. Su objetivo no es *describir* un hecho del mundo, sino *expresar* las emociones de la persona que la emitió. Pero también ocurriría lo mismo con las reflexiones éticas y políticas que ni pueden ser decididas por la experiencia ni se encuentran constituidas por juicios analíticos (como aquellas posiciones políticas defendidas por los empiristas lógicos mismos en el Manifiesto). Consideraban, en este sentido, que existían dos tipos de juicios de valor: los absolutos y los instrumentales. Los juicios de valor absoluto eran aquellos en los que se afirmaba la deseabilidad de cierto valor u objetivo –por ejemplo, “la sociedad debe tender hacia una mejor distribución”– mientras que los juicios de valor instrumental afirmaban los medios para obtener tales objetivos –por ejemplo, “para lograr una mejor distribución, los impues-

tos deben ser progresivos”—. Los primeros carecían de significado empírico, y por no ser analíticos, de significado cognoscitivo. Los segundos, en cambio, sí tenían significado empírico. La ciencia podía permitir proveer los medios más adecuados para conseguir cierto objetivo, pero nunca podría permitir determinar cuáles son los objetivos a seguir. En los discursos de la ética o la política, entonces, solo tendrían significado cognoscitivo los juicios instrumentales, no los absolutos.

Todo este largo rodeo nos ha permitido acercarnos a la caracterización que los empiristas lógicos hacían de la metafísica. Un enunciado era metafísico, bajo su punto de vista, cuando aunque no siendo contrastable con la experiencia ni siendo analítica, se lo utilizaba como si expresara hechos del mundo. Es decir, una oración sería metafísica si careciendo de significado cognoscitivo se la utilizaba como si lo tuviera. Oraciones como “Dios existe”, “Dios no existe”, “El absoluto es perfecto”, “La realidad está constituida por dos tipos de sustancias, la material y la pensante”, “El motor inmóvil es la primera causa”, “Todo fenómeno tiene una causa”, “El sabio es el que persigue el bien”, “Las cosas sensibles son copias imperfectas de las ideas del mundo suprasensible”, “Pienso, luego existo” y otras oraciones de la filosofía tradicional, al ser usadas por el metafísico como expresión de hechos del mundo, y no ser ni analíticas ni contrastables con la experiencia, eran metafísicas.

Maliciosamente, Carnap caracteriza a los metafísicos como “poetas sin ritmo” (en su mente tiene un lugar especial el filósofo Heidegger, de ahí que su ejemplo favorito de enunciado metafísico sea una frase suya: “la nada nada”). Vean el siguiente fragmento del Manifiesto:

El metafísico y el teólogo creen, incomprendiéndose a sí mismos, afirmar algo con sus oraciones, representar un estado de cosas. Sin embargo, el análisis muestra que estas oraciones no dicen nada, sino que sólo son expresión de cierto sentimiento sobre la vida. La expresión de tal sentimiento seguramente puede ser una tarea im-

portante en la vida. Pero el medio adecuado de expresión para ello es el arte, por ejemplo, la lírica o la música. Si en lugar de ello se escoge la apariencia lingüística de una teoría, se corre un peligro: se simula un contenido teórico donde no radica ninguno. Si un metafísico o un teólogo desea retener el ropaje habitual del lenguaje, entonces él mismo debe darse cuenta y reconocer claramente que no proporciona ninguna representación, sino una expresión, no proporciona teoría ni comunica un conocimiento, sino poesía o mito. Si un místico afirma tener experiencias que están sobre o más allá de todos los conceptos, esto no se lo puede discutir. Pero él no puede hablar sobre ello; pues hablar significa capturar en conceptos, reducir a componentes de hechos científicamente clasificables.

El rechazo a la metafísica ha pasado a la historia de la filosofía como la faceta más conocida del Círculo. Independientemente de las personas a las que se dirigiese este ataque, y a lo justo que tales ataques fuesen, el hecho de que la ciencia no pueda resolver unívocamente discusiones éticas ni estéticas es aceptado hoy casi universalmente. Tampoco se considera que existan medios independientes de la experiencia de conocer el mundo. En esto, el movimiento empirista fue convincente. Muchos estiman ofensiva y equivocada, sin embargo, su consideración de que detrás de autores, como los filósofos alemanes Martin Heidegger o Georg Wilhelm, Friedrich Hegel, hubiera cierta deshonestidad en el discurso, que detrás de sus discursos complejos no hubiera más que una simulación de significado. Finalmente, cabe aclarar que el uso de “metafísica” como un adjetivo negativo no es el habitual entre los filósofos, muchos de los cuales llaman “metafísica” al área en que trabajan.

Aunque es comúnmente aceptado que el Empirismo lógico ha sido superado y abandonado, es interesante destacar que continúa siendo dominante la idea de que una tarea importante de la filosofía de la ciencia consiste en la clarificación del lenguaje de la ciencia, si bien esta no sea, tal como ellos pensaban, la única tarea que la filosofía puede realizar genuinamente, ni se realice a través de la eliminación de la metafísica y la confección de un lenguaje universal. La clarificación del lenguaje de la

ciencia sigue constituyendo una de las tareas fundamentales del filósofo de la ciencia. A continuación, se presenta el método de clarificación, que Carnap denominó “elucidación”.

ACTIVIDAD 1

Como vimos, una parte esencial de la creación del lenguaje universal que permitiría la comunicación de la ciencia, según los empiristas lógicos, consistía en la eliminación de la metafísica. En esta tarea cumplía un rol esencial el criterio de significado cognoscitivo. Pero tal criterio no permitía, por sí mismo, distinguir entre enunciados metafísicos y no metafísicos, sino entre enunciados con significado cognoscitivo y enunciados sin significado cognoscitivo. Los enunciados metafísicos eran pensados como un subtipo de enunciados sin significado cognoscitivo.

De acuerdo con los criterios del Empirismo lógico, identifiquen y justifiquen si los siguientes enunciados tienen significado cognoscitivo o no, y, posteriormente, si son analíticos, si tienen significado empírico o emotivo. ¿Alguno podría ser considerado metafísico?

1. “Hay vida en Marte”.
2. “Los dinosaurios y los *homo sapiens* convivieron en el pasado”.
3. “ $4 - 1 = 3$ ”.
4. “La vida es el valor supremo”.
5. “He de fusionar mi resto con el despertar, aunque se pudra mi boca por callar”.
6. “Dios, que es acto puro y no tiene nada de potencialidad, tiene un poder activo infinito sobre las demás cosas”.
7. “Los países con pena de muerte no tienen tasas de homicidios intencionales más bajos”.
8. “La pena de muerte es un medio adecuado para bajar los índices de homicidios”.
9. “Es importante bajar la tasa de homicidios”.
10. “El mundo está compuesto por entidades físicas con propiedades físicas y no existen entidades supranaturales”.

1.3. Elucidaciones conceptuales

Según los filósofos del Círculo de Viena la tarea primordial de la filosofía era el análisis del lenguaje de la ciencia. Carnap (1950) propuso

llamar a la operación por la cual se clarifica un concepto de la ciencia: “elucidación”.² La meta que se busca en una elucidación es reemplazar un concepto ambiguo, vago o poco claro, por uno que no lo sea. Se suele llamar *explicandum* al concepto dado (o al término usado para designarlo) y *explicatum* al concepto (o al término propuesto para designarlo) que se elige para ocupar su lugar. Si bien lo que tenían en mente era la elucidación de conceptos del lenguaje científico, es posible proponer elucidaciones de conceptos del lenguaje natural. Supongamos que queremos elucidar el concepto de “mesa”. Por supuesto, sabemos usar ese concepto (del mismo modo en que los científicos saben emplear los conceptos que utilizan). La idea es explicitar las reglas implícitas que se utilizan al aplicarlo, volviéndolo menos vago o más exacto. Considérese como propuesta de elucidación del concepto de mesa, el *explicandum*, y el *explicatum* más exacto “tabla de cuatro patas que sirve para apoyar cosas”. Es fácil mostrar la inadecuación de esta elucidación, pues hay objetos que consideramos “mesas” que no cumplen con estas características (no toda mesa tiene cuatro patas, por ejemplo). Discutiremos, a continuación, la naturaleza de las elucidaciones para después pasar a los criterios de adecuación.

Lo primero que hay que tener en cuenta para comprender en qué consiste una elucidación es que no se trata de una “definición” del concepto a elucidar. En el caso de la definición se busca la sinonimia, es decir, igualdad de significado, entre el término a definir y la expresión que lo define. En este caso, esta no es la meta, puesto que buscamos el reemplazo de un concepto poco exacto por uno más exacto, es decir, por uno distinto. Es interesante señalar que los científicos en sus discusiones habituales acerca de los conceptos que utilizan, en muchos casos están tratando de realizar una elucidación pero describen esa tarea como la búsqueda de una definición. Un ejemplo de esto es el intento por parte

² “Elucidación” es la traducción habitual para *explication*. En inglés se propone este término de raíz latina para oponerlo a *explanation*. La idea es distinguir las explicaciones que dan los científicos, de los análisis que hacen los filósofos.

de los biólogos de definir el concepto de “especie”. Como los criterios de adecuación de una definición y de una elucidación son distintos, esto puede acarrear innumerables malentendidos.

Otra diferencia importante es que la tarea realizada al elucidar conceptos es diferente de la tarea realizada por los científicos en su práctica habitual. “Elucidar” no es lo mismo que “explicar”. Los problemas a explicar por los científicos suelen estar enunciados de manera exacta —por ejemplo, “¿por qué los cuerpos caen con una aceleración de $9,8 \text{ m/s}^2$?”—.

La explicación consiste habitualmente en la subsunción a leyes generales. Reiteramos, el concepto a elucidar no está dado en términos exactos, si lo estuviera no sería necesaria la elucidación. La intención no es explicar por qué ocurre un fenómeno, sino la confección de un lenguaje más claro y preciso.

Elucidación: clarificación de un concepto vago, ambiguo o impreciso, en términos más exactos. Debe distinguirse de la explicación, que es lo que hacen los científicos en sus tareas habituales con los fenómenos de la naturaleza. También, debe distinguirse de la definición, que intenta encontrar un sinónimo. Pues en la elucidación se busca reemplazar un concepto oscuro por uno más claro.

Una cuestión significativa para señalar consiste en que, si bien se parte de que el concepto a elucidar, el *explicandum*, es inexacto, esto no quiere decir que no haya que hacer el esfuerzo de expresarlo del modo más claro posible, señalando, por ejemplo, que lo que se pretende elucidar es el uso de cierto concepto en cierta teoría o en cierto contexto, y poniendo la máxima información respecto al modo en que es utilizado. Según Carnap, este es un requisito que violan con frecuencia los filósofos cuando formulan preguntas como “¿qué es la justicia?”. Para que sea posible realizar la elucidación, el *explicandum* debe estar dado en los términos más

claros posibles, a través de la utilización de ejemplos de uso y aplicación, explicaciones informales, etc. Esto todavía no constituye la elucidación, por supuesto, sino la correcta formulación del problema.

En cuanto a los criterios de adecuación de las elucidaciones, lo primero a señalar es que por la esencia de la tarea misma en la que no se exige una solución exacta a un problema exacto, no existe una elucidación correcta o errónea en términos absolutos, sino que habrá elucidaciones más satisfactorias que otras. Carnap ofrece criterios que debe cumplir una buena elucidación y cuya satisfacción, en mayor o menor grado, pueden permitirnos evaluar la adecuación comparada de distintas elucidaciones.

Criterios de adecuación de las elucidaciones:

- *Similitud*: no puede exigirse a una elucidación una coincidencia completa entre *explicatum* y *explicandum*. Puesto que el primero debe ser más exacto que el segundo, diferirán en, al menos, alguna de sus aplicaciones. Pero, por supuesto, tiene que haber alguna relación de similitud, puesto que la idea no es reemplazar un concepto inexacto por uno exacto que no tenga nada que ver con el primero. La idea, entonces, es conservar la mayoría de los usos del explicandum, o tal vez, conservar los usos no dudosos. Así, por ejemplo, si queremos elucidar el concepto de “pescado” en sus usos en el lenguaje natural, debemos conservar sus usos no dudosos. Los peces que se encuentran en venta en la pescadería deben seguir siendo pescados. El concepto parece requerir una elucidación ya que si se consulta a diferentes personas acerca de su utilización acordarán todas con respecto a este último punto, pero no lo harán en cuanto a si es lícito llamar pescado a peces muertos en el mar o a peces capturados vivos en peceras. El *explicatum* debe decidir esos casos confusos para ser más exacto, pero debe retener los usos no dudosos del concepto.

- *Exactitud*: el *explicatum* debe encontrarse caracterizado de la manera más exacta posible. Las reglas de su uso deben encontrarse explicitadas (una de las formas en las que se puede lograr esto es mediante definiciones, pero, en algunos casos, puede que no sea posible).
- *Fertilidad*: la elucidación debe ser interesante y fructífera. Carnap señala que esto se mide a través de la cantidad de leyes universales en las que el concepto aparece (empíricas, si es un concepto no lógico, o lógicas, si es lógico). Este requerimiento, tal vez, podría ser medido también por la cantidad de problemas o pseudoproblemas, malentendidos o desacuerdos acerca de la ciencia que pueda solucionar o disolver la elucidación.
- *Simplicidad*: sin poner en jaque a ninguno de los requisitos anteriores, que son más importantes que este, la elucidación debe ser lo más simple posible. A igualdad de los otros requisitos, es preferible la elucidación que formule el *explicatum* de modo más simple. Por supuesto, la medida de la simplicidad es siempre una cuestión compleja, puesto que cierto *explicatum* puede ser más simple por utilizar menos conceptos, o por ejemplo, por emplear una lógica más sencilla. Si bien tales formas distintas de simplicidad pueden entrar en conflicto, esto no pone en duda el hecho de que sea preferible buscar la mayor simplicidad posible en todos los aspectos.

En general, los requisitos que influyen en las discusiones entre diferentes elucidaciones son los dos primeros. Supongamos que proponemos para elucidar el concepto de “mesa”, la expresión “objeto con cuatro patas”. Evidentemente el criterio de similitud no está siendo cumplido por dos razones diferentes. Por un lado, casos de mesas que no son dudosos en los usos cotidianos, como el de mesas con solo una pata central, o mesas colgadas de la pared, dejan de ser mesas. La elucidación es demasiado restrictiva, pues se pierden casos que queremos retener. Además, objetos que de ninguna manera consideraríamos mesas, como una

bañera antigua con patas, caerían bajo el *explicatum*. La elucidación en este caso sería demasiado permisiva. Ambas críticas atacan la similitud. Por otro lado, también es posible criticar la elucidación por poco exacta. Dado el significado ambiguo de “pata” no queda claro si los perros caen o no bajo el *explicatum*.

Dejando de lado la posible exageración de los empiristas lógicos al manifestar que la única tarea de la filosofía es la clarificación del lenguaje por medio de elucidaciones, es interesante destacar que las elucidaciones conceptuales siguen tomando una parte central en la filosofía en general y de la ciencia en particular y es una de las tareas que más pueden servir a la práctica científica misma. La aclaración de los conceptos en los que se plantean los desacuerdos entre científicos suele ser sumamente fructífera. Y, efectivamente, las elucidaciones también son importantes, como los empiristas lógicos pretendían, a la hora de comunicar y enseñar ciencia. De hecho, todo el aparato conceptual brindado en el capítulo III de esta publicación permite elucidar mucho del lenguaje utilizado en la práctica científica habitual. Palabras como “contrastar”, “probar”, “experimento”, “observación”, “verificación”, “explicación”, aparecen constantemente en las publicaciones especializadas y en la oralidad de los científicos, a veces, utilizadas ambigua y vagamente. El análisis lógico de la contrastación que vimos puede permitir presentar estas cuestiones de manera más prolija y adecuada. Por otra parte, en este capítulo, en las discusiones que veremos, se encontrarán involucrados todo el tiempo los criterios brindados. Discutiremos, además de cómo es el cambio científico, cuál es el mejor modo de elucidar conceptos como “teoría”, “revolución científica”, “experiencia”, “observación”. Tales conceptos, utilizados normalmente de manera vaga y ambigua (incluso en el capítulo I: *Historia de la ciencia. Dos revoluciones*), serán fuertemente discutidos a lo largo de este trabajo. Por otra parte, los trabajos elucidatorios cumplen un rol fundamental en las filosofías especiales de la ciencia. En

este caso, no se intenta elucidar los conceptos con los que los científicos hablan de su práctica, sino los propios conceptos científicos. Conceptos como “gen”, “partícula”, “especie”, “clase social”, etc., son utilizados a veces de manera ambigua. Es un rol de la filosofía especial de la ciencia (realizada por filósofos o por científicos) elucidar tales conceptos.

El tratamiento de Carnap de la elucidación tiene por objeto a los conceptos. Pero es posible dar un tratamiento similar a la clarificación de teorías científicas. En este caso, se suele hablar de “reconstrucción” más que de “elucidación”. Una buena reconstrucción de una teoría científica debe cumplir criterios semejantes. **La reconstrucción de teorías científicas fue la tarea que los empiristas lógicos se pusieron como meta.** Veremos, en el punto siguiente, su concepción de las teorías científicas. **La elucidación de conceptos científicos suele presuponer, además, la reconstrucción de las teorías en las que estos aparecen.**

ACTIVIDAD 2

Los filósofos del Círculo de Viena tenían una actitud bastante intolerante frente a la filosofía tradicional. Consideraban que gran parte de esta carecía de significado cognoscitivo, es decir, no constituía conocimiento. Tal actitud fue fuertemente criticada desde diversos ámbitos, y esta faceta intolerante es la que suele presentarse como distintiva del grupo, olvidando la tarea que se proponían y los objetivos que se perseguían: la confección de un lenguaje universal claro que permitiera la comunicación de los científicos entre sí y la comunicación de la ciencia a la sociedad. Independientemente de lo injustos que fuesen con respecto a otras áreas de la filosofía al afirmar que la única tarea con sentido de la filosofía consiste en el análisis y clarificación de los conceptos científicos, no cabe duda de que la elucidación conceptual constituye una de las tareas interesantes de la filosofía. De hecho, gran parte de la filosofía de la ciencia sigue dedicándose a eso, a elucidar conceptos y a reconstruir teorías y métodos de la ciencia. En parte, fue esto lo que se hizo en el capítulo III de este libro, al presentar el modo en que se contrastan las hipótesis científicas.

El método utilizado, entonces, es el de la elucidación conceptual. En base a la presentación realizada de la elucidación, resuelvan las siguientes cuestiones:

- a. Establezcan diferencias entre elucidar, definir y explicar.

b. Consideren los criterios de adecuación y señalen los diferentes motivos por los cuales las siguientes elucidaciones de conceptos del lenguaje natural serían inadecuadas:

- Gato: objeto peludo con cuatro patas.
- Gato: animal que maúlla.
- Elefante: mamífero terrestre bastante grande.
- Silla: objeto de madera que sirve para sentarse.

c. Expliquen por qué las siguientes elucidaciones de conceptos metateóricos son inadecuadas:

- Consecuencia observacional: enunciado básico sin términos teóricos.
- Ley científica: enunciado verificado a través de la observación y de la experimentación.

2. Concepción clásica de teoría

Parte del marco conceptual brindado por los empiristas lógicos en su clarificación del lenguaje científico, incluye una noción de teoría científica. Si bien, no es posible sostener que todos compartieran dicha posición, fue en el seno de este grupo en donde surgió la concepción que llamaremos “concepción clásica de teoría”.

Tradicionalmente se había tratado a las teorías matemáticas a partir de la noción de sistema axiomático, es decir, básicamente, como conjuntos de formas proposicionales (en el sentido visto en el capítulo II: *Nociones básicas de lógicas* del presente trabajo) unidos por la deducción. Presentar un sistema axiomático, consiste en presentar un lenguaje (términos y reglas de formación de fórmulas a partir de esos términos) y ciertas formas proposicionales fundamentales: los axiomas. El sistema axiomático está formado entonces por esos axiomas y por todo lo que se deduce de ellos (los teoremas). Pero es una estructura meramente formal, sin significados atribuidos. En un comienzo se consideró que tal herramienta sería útil también para pensar las teorías científicas. Un

componente central de las teorías científicas según los empiristas lógicos es, consecuentemente, un cálculo axiomatizado, un conjunto de formas proposicionales unidas por la deducción. Sin embargo, existe una diferencia fundamental entre las teorías formales y las fácticas. Las teorías matemáticas podrían identificarse únicamente, en una primera instancia (porque esto es discutible) con sistemas axiomáticos formales, pero esto no se puede pensar de ningún modo acerca de las teorías fácticas, ya que estas no son sistemas meramente formales sino que pretenden hablar de ciertas porciones del mundo. Una cuestión que ha sido fuertemente discutida es, justamente, cómo las teorías fácticas adquieren semántica empírica, cómo adquieren significado fáctico.

Para la solución de este problema dentro del Empirismo lógico, es central la distinción ya vista en el capítulo anterior- entre términos observacionales y teóricos. Los términos observacionales son aquellos que nombran entidades directamente observables (por ejemplo, “rojo”, “perro”, “más alto que”, etc.). Los términos teóricos son aquellos que nombran entidades no observables directamente (“átomo”, “gen”, “valencia”, etc.). Esta distinción permite caracterizar a los enunciados básicos, a las generalizaciones empíricas y a los enunciados teóricos puros y mixtos. Los enunciados teóricos mixtos tienen una función especial en la teoría y posibilitan dar respuesta a la cuestión de cómo las teorías adquieren semántica empírica, pues son ellos los que permiten dar significado empírico al cálculo axiomatizado. Por eso, se los ha llamado “reglas de correspondencia”. Un enunciado teórico puro como “La rabia es un virus” adquiere significado empírico y permite, por lo tanto, realizar predicciones empíricas gracias a reglas de correspondencia como “Los perros con rabia tienen espuma en la boca”.

Además, a través de estas reglas de correspondencia es que podemos deducir enunciados básicos que describen fenómenos observables. De este

modo, las teorías permiten explicar fenómenos observables, y, también, es así como es posible contrastarlas. La idea es que de las teorías se deducen consecuencias observacionales del mismo modo que de las hipótesis se lo hace. Así, la contrastación de teorías no difiere en este enfoque en nada de la contrastación de hipótesis. Basta con poner en lugar de la hipótesis, a la teoría a contrastar y todo el análisis realizado se conserva.

Una teoría científica está compuesta, entonces, por un cálculo axiomatizado formado por, además de conceptos matemáticos y lógicos, conceptos teóricos (que se identifican en esta concepción con los no observacionales) y estos son interpretados parcialmente a través de reglas de correspondencia que tienen, aparte de conceptos matemáticos y lógicos, los dos tipos de términos, observacionales y teóricos. Estas reglas de correspondencia conectan a algunos de los términos teóricos con la experiencia (ver Figura 1).

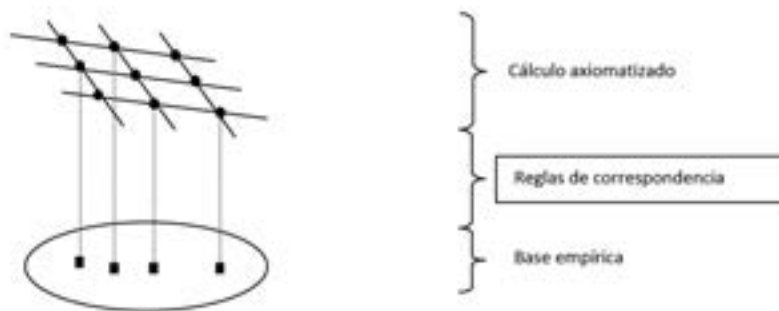


Figura 1. Representación de componentes de una teoría científica. Los cuadrados representan términos observacionales, los círculos términos teóricos. Las líneas no punteadas que unen los términos teóricos establecen una red de relaciones entre los términos teóricos. Esta red representa al cálculo axiomatizado. Las relaciones son establecidas a través de los enunciados teóricos. Finalmente, el cálculo axiomatizado interpreta parcialmente, a través del contacto de alguno de sus términos teóricos con la base empírica, a través de reglas de correspondencia, representadas por líneas punteadas.

Esta concepción de teoría pasará a ser dominante hasta los sesenta en los países anglosajones y es conocida como la Concepción estándar (o

heredada o clásica) de las teorías científicas. Dentro de esta concepción, se suele llamar a los axiomas “leyes fundamentales” y a todos los enunciados que se deduzcan de ellas, “leyes derivadas”.

No es fácil presentar ejemplos de reconstrucciones de teorías reales a partir de este marco, pues los intentos de reconstruir teorías llevaron al abandono de la Concepción estándar. Más adelante, veremos algunos de los problemas que enfrentó esta concepción de teoría que terminó siendo reemplazada por concepciones distintas.

Ejemplo de presentación estándar de una teoría

Teoría celular simplificada reconstruida informalmente

Vocabulario extralógico teórico:

- Célula
- x procede de y y de z por unión celular
- x e y proceden de z por división celular
- x en el tiempo y está compuesto por z células

Vocabulario extralógico observacional:

- Tejidos de organismos vivos
- Instantes temporales
- x está compuesto por y
- El volumen de x es y
- x es un organismo vivo

Enunciado teórico:

- Toda célula proviene de otra célula por la fusión de otras dos células o por la división de una célula en dos.

Reglas de correspondencia:

- Los tejidos de los organismos vivos están compuestos de células.
- Todo aumento de volumen de los tejidos de los organismos vivos se debe a la duplicación de las células que lo componen.

Esta teoría permitiría explicar, por ejemplo, el crecimiento de una planta.

ACTIVIDAD 3

El ascenso del nazismo provocó que varios de los miembros del Círculo emigraran y algunos de ellos, como Carnap, terminaron en los Estados Unidos. Allí, la concepción de teoría que proponían (aunque no los objetivos socialistas que perseguían) se volvió dominante. En este libro, al comienzo del capítulo III, se establece una distinción entre diferentes tipos de enunciados en base al vocabulario no lógico que los constituye y su alcance. Así, se distingue entre enunciados teóricos puros (cuyos términos no lógicos son todos teóricos), enunciados teóricos mixtos (cuyos términos no lógicos son de los dos tipos, teóricos y observacionales), generalizaciones empíricas (cuyos términos no lógicos son todos observacionales, pero se refieren a clases enteras de entidades observables) y enunciados básicos (cuyos términos no lógicos son observacionales, pero se refieren a un grupo pequeño de entidades observables o a una sola). Estas distinciones fueron introducidas en el capítulo III de esta publicación por su relevancia para la contrastación de hipótesis. Las retomaremos porque son vitales para la concepción de teoría del Empirismo lógico. Las teorías científicas, según esta concepción, son un conjunto de enunciados teóricos unidos por relaciones deductivas, que adquieren significado empírico de manera indirecta a través de enunciados mixtos que los conectan con enunciados observables, las reglas de correspondencia.

Entre los siguientes enunciados básicos que podrían pertenecer a una presentación vaga y clásica de alguna área de la biología molecular, distinguan enunciados teóricos puros, mixtos, generalizaciones empíricas y enunciados básicos. Justifiquen la elección.

1. Las proteínas son biomoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos.
2. Las proteínas son imprescindibles para el crecimiento del organismo.
3. Las proteínas se sintetizan dependiendo de cómo se encuentren regulados los genes que las codifican.
4. Las enzimas son proteínas que provocan que una reacción química transcurra a mayor velocidad.
5. Para que se produzca la melanina, sustancia que da color a la piel y al pelo, tiene que ocurrir una serie de reacciones enzimáticas en las que es fundamental la enzima tiroxinasa
6. Los individuos en los que la enzima tiroxinasa no funciona son albinos, por falta de melanina.
7. Uno de cada cuatro hijos de una pareja de un albino con un no albino, será albino.
8. Existe aproximadamente un albino por cada 17.000 habitantes.
9. El músico brasileño Hermeto Pascoal es albino.
10. Existen albinos en todos los animales.
11. Todos los hijos de Carlos y María son albinos.

3. Problemáticas acerca de la base empírica

Como se mencionó más arriba, para confirmar, corroborar o refutar una hipótesis o una teoría, es necesario verificar o refutar un enunciado básico, es decir, un enunciado singular empírico. ¿De qué modo se verifican o refutan los enunciados básicos? La respuesta más sencilla parece ser que tal verificación se realiza a través de la experiencia o de la percepción sensorial de que ocurra o no lo que el enunciado básico describe. En los apartados anteriores, dimos por supuesto que es posible verificar los enunciados básicos a través de la experiencia. Pero hubo, y sigue habiendo, un fuerte debate al respecto. Por otra parte, como veremos más adelante, algunos sostienen que no es posible establecer una diferencia ni tajante, ni clara, entre términos teóricos y observacionales. Distinción que, como decíamos, resulta clave en la Concepción estándar de las teorías científicas. Pasemos a plantear la discusión.

3.1. Fundacionismo

Podemos caracterizar como fundacionistas las posiciones que consideran que existe la posibilidad de establecer la verdad de los enunciados básicos a través de la experiencia. Esto brindaría una base empírica fuerte que podría servir para confirmar o corroborar, y refutar las hipótesis y teorías científicas. En general, los empiristas modernos (como Hume o Locke) eran fundacionistas. Pero hubo una fuerte discusión en el interior del Empirismo lógico con respecto al estatus de la base empírica, de modo que sería injusto caracterizarlos como fundacionistas. Por otro lado, todavía hoy existen autores fundacionistas con posiciones más sofisticadas. Sin embargo, son comúnmente aceptadas las críticas que trataremos en los siguientes puntos. Cualquiera que hoy quiera sostener que la observación es fundamento último de ciertos enunciados, tiene que proponer una posición que ponga límites a estas críticas.

La posición fundacionista más simple consiste en sostener que los enunciados básicos, por ser singulares y no contener términos no observacionales (teóricos), pueden ser verificados o refutados en un número finito (no muy grande) de observaciones. Las críticas a esta idea son conocidas, en general, como críticas a la distinción teórico/observacional o, también, como la tesis de la carga teórica de la observación. Pero, como veremos, es necesario separarlas en dos críticas distintas.

3.2. Carga teórica de los enunciados básicos

Según la posición fundacionista sería posible verificar enunciados básicos porque son enunciados singulares que solo tienen términos observacionales. No podríamos verificar por la experiencia un enunciado como “Todos los cuervos son negros”, porque al estar hablando de la clase completa de los cuervos, no podríamos observar todos los casos involucrados en ninguna experiencia concreta directa. Tampoco podríamos verificar por la experiencia “Este cuervo tiene ADN dentro de los núcleos de sus células”, porque, si bien es un enunciado singular, tiene el término teórico “ADN”. Pero sí podríamos, en principio, verificar “Este cuervo es negro”.

Karl Popper (1902-1994) en su libro *La lógica de la investigación científica* (1971), propuso una crítica bastante fuerte y convincente a esta posición. Según él, los enunciados básicos están cargados de teoría.

Del mismo modo que no es posible verificar “Este cuervo tiene ADN en sus células” porque, como mencionamos, dice mucho más de lo que podemos ver, tampoco podríamos verificar un enunciado singular que solo contuviera términos observacionales (además de los términos lógico-matemáticos).

Consideremos el ejemplo del mismo Popper: “Este vaso tiene agua.”

Este es un ejemplo de enunciado básico. Sus términos no lógicos son observacionales y es singular. Sin embargo, ¿qué ocurre si probamos el contenido del vaso y resulta amargo? Evidentemente se trata de otra cosa. ¿Qué pasa si enfriamos tal contenido y se congela a los 10 grados bajo cero? Tampoco sería agua, puesto que esta se congela a los 0 grados. ¿Qué pasa si la calentamos a nivel del mar y hierve a los 50 grados? Tampoco sería agua. Es decir, cuando decimos “Este vaso tiene agua”, estamos asumiendo varias cosas: si lo calentamos, su contenido hervirá a 100 grados (a nivel del mar), si lo enfriamos, se congelará a 0 grados, si lo ponemos a la luz será transparente, si lo probamos, no tendrá gusto, si lo olemos, no tendrá olor, etc. Además, estamos diciendo que cada vez que volvamos a repetir estos “experimentos” seguirá comportándose de este mismo modo. Nada de esto surge solo de una experiencia directa.

De manera general, lo que sostiene Popper es que en los enunciados básicos aparecen necesariamente universales (términos que nombran a clases –como “agua”, “cuervos”, etc.– y no a individuos –San Martín, la Argentina, etc.–), cuya aplicabilidad supone comportamientos legaliformes, es decir, que los objetos en cuestión se comportan de cierto modo siempre. Aplicar tales conceptos a una entidad particular presupone asumir hipótesis en cuanto al comportamiento de esa entidad e implica predicciones con respecto a sus reacciones ante ciertos estímulos en el presente y en el futuro. Según esta crítica, entonces, los enunciados básicos dicen mucho más de lo que vemos en la experiencia, y por lo tanto, no pueden ser verificados por esta.

Otra forma de exponer la crítica es a través de la idea de “concepto disposicional”. Un concepto es disposicional si no nombra una propiedad que tiene un objeto en acto, sino cierta propiedad de reaccionar del objeto

ante ciertos estímulos. El ejemplo típico es “frágil”. Decir que un objeto es frágil es sostener que frente a ciertos estímulos reaccionará de determinada manera, por ejemplo, que se romperá ante un golpe de ciertas características. Es comúnmente aceptado que los enunciados con conceptos disposicionales no son verificables por la experiencia directa, puesto que, si bien parecen singulares (“el vaso es frágil”), en realidad suponen comportamientos legales (cada vez que golpeemos el vaso, se romperá). La tesis de Popper puede resumirse en la afirmación de que los conceptos que aparecen en los enunciados básicos son disposicionales.

Analicemos el siguiente enunciado, claramente básico: “La remera es roja”. “Rojo” es un ejemplo clásico de término observacional, sin embargo, cualquiera que haga compras habitualmente sabe que existe un factor perturbador del color que puede hacer que nos compremos una remera con un color equivocado: la luz con la que está iluminado. Una remera es roja si al iluminarla con una luz blanca provoca cierta sensación de color. Si la iluminamos con una luz distinta puede parecer de otro color. Pero entonces, no es distinto al concepto de frágil. “Rojo” es un concepto disposicional acerca de cómo reaccionan las cosas rojas frente a un estímulo lumínico de cierto tipo.

Así, los conceptos que aparecen en los enunciados básicos clasifican las entidades que componen al mundo, y esta clasificación es teórica. Son posibles muchas clasificaciones distintas. La base empírica, siguiendo a Popper, no es indubitable ni verificable.

Popper sostiene que para refutar una teoría científica la comunidad científica debe aceptar convencionalmente ciertos enunciados básicos, y que tal acuerdo se logra casi siempre porque la convención no es arbitraria, sino que está guiada por la observación. Pero esta observación no verifica ni justifica los enunciados básicos. Puede ocurrir, por supuesto, que el acuerdo

no se logre, en cuyo caso el enunciado básico no sería aceptado. Los enunciados básicos son discutibles y revisables, y no ofrecen, según Popper, un fundamento último indiscutible, sino, un fundamento convencional solo lo suficientemente firme como para permitir sostener el edificio de la ciencia.

3.3. Carga teórica de la observación

En el apartado anterior presentamos la tesis de que los enunciados básicos con los que describimos nuestras experiencias están cargados de teoría. En este caso, lo que se sostiene es que las experiencias mismas no son del todo confiables o puras. La observación misma está cargada de teoría, tal como ha sostenido el filósofo estadounidense Norwood Russell Hanson (Hanson, 1977).

Nuestro aparato perceptivo impone formas a las sensaciones que recibimos. Esto fue descubierto por una escuela psicológica llamada Gestalt.

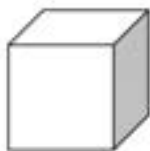


Figura 2. Figura de dos dimensiones que configuramos como un cubo.

Al mirar el dibujo de la Figura 2, por ejemplo, que en realidad es una figura de dos dimensiones, vemos, inevitablemente un cubo. Difícilmente podamos ver ese dibujo como un conjunto de segmentos que se tocan en sus extremos, es decir, la figura de dos dimensiones.

Otro ejemplo es el que aparece como Figura 3. Aquí hay dos figuras distintas, una anciana y una joven. Si ven una primero, probablemente tardan un poco en ver la otra (la nariz de la anciana es el mentón de la joven). Como se puede notar, una vez que aprendieron a ver las dos figuras, ven una u otra. Lo que revelan estas imágenes es cómo en la

percepción misma se imponen formas. Difícilmente pueda describirse esto como una observación pura y una posterior interpretación. Como señala el mismo Hanson, solo hay un acto de ver. Uno ve la anciana o ve la joven.



Figura 3. Figura reversible (esta imagen puede configurarse de dos modos diferentes, como una anciana o como una joven)³.

Del mismo modo que aprendemos a ver ciertas cosas en estas imágenes, los científicos aprenden a ver ciertas cosas en las imágenes con las que trabajan. Aprenden a leer radiografías, o a reconocer organelos de la célula con un microscopio. Ven formas en donde el lego ve solo manchas. De ahí que sea posible que a veces vean cosas que no están y que la observación no sea tan fiable como puede parecer en una primera instancia.

Puede parecer un escepticismo filosófico exagerado, como el del que duda de que exista el mundo externo o cosas por el estilo, pero existen algunos hechos en la historia de la ciencia que solo se entienden si se toma en cuenta esta carga teórica. Por ejemplo, se suele hablar de marcianos, y no de venusianos, porque por mucho tiempo se pensaba que en Marte había canales artificiales (ver Figura 4). Se les había puesto nombre, y los astrónomos aprendían a verlos. Ni qué decir que

³ Tomado de Wikipedia. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Gestalt_Principles_Composition.jpg. Último acceso 22 de diciembre de 2014.

no solo no hay canales en Marte, sino que además, no hay nada que se les parezca. En los libros de astronomía de finales del siglo XIX, todavía siguen apareciendo ilustraciones de tales canales.



Figura 4. Mapa de Marte publicado por el astrónomo Schiaparelli en 1888⁴.

Otro ejemplo tiene que ver con una polémica antigua en cuanto a cómo se formaba un organismo a partir del líquido seminal. Algunos sostenían que en el huevo había una materia informe que a la larga tomaba la forma de la gallina, sin embargo, no podrían explicar bien cómo ocurría esto. Otros sostenían que en el huevo había una gallinita muy pequeña y que la formación de la gallina adulta se daba únicamente por crecimiento. Estos últimos eran llamados “preformacionistas”. Se podría pensar que esta polémica acabó con la invención del microscopio. No obstante, vemos el dibujo de uno de los que sostenían el preformacionismo que observó un espermatozoide bajo el microscopio (ver Figura 5).

⁴ Tomado de Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Karte_Mars_Schiaparelli_MKL1888.png> (Último acceso 6 de junio de 2015).



Figura 5. De *Essai de dioptrique* de Nicolaas Hartsoecker (publicado en París en 1694)⁵

¿Cómo interpretar este hecho? ¿El que realizó el dibujo estaba mintiendo al respecto de lo que veía? Sería extraño, puesto que los microscopios también estaban disponibles para los que sostenían el enfoque contrario. La explicación más adecuada parece ser que, efectivamente, los científicos aprenden a ver ciertas cosas en su formación. Si uno quiere ser un biólogo molecular tiene que aprender a ver células, cromosomas, mitocondrias, etc., en imágenes muy confusas. Cualquiera que haya observado por un microscopio en un comienzo debe haber sufrido la decepción de no ver las cosas que supuestamente debería haber visto. Del mismo modo que el biólogo molecular aprende a ver esas cosas, los científicos que hicieron los dibujos anteriormente citados (Figuras 4 y 5) aprendieron a ver ciertas cosas en las imágenes proyectadas por los instrumentos que utilizaban. Luego de horas y horas frente a un microscopio o a un telescopio, la verdad es que podrían terminar viendo casi lo que quisieran, como quien busca formas en las nubes.

Esto tiene consecuencias epistemológicas importantes. Una posible consecuencia observacional del preformacionismo podría haber sido que si se mira un espermatozoide por el microscopio, se vería una persona pequeña. Si consideráramos la observación infalible, la posición contraria al

⁵ Tomado de Wikipedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:HomunculusLarge.png>> (Último acceso 6 de junio de 2015).

preformacionismo, el “epigenismo”, podría haberse visto refutada, puesto que predecía que no veríamos una pequeña persona. Noten que en este caso es posible introducir una nueva posible hipótesis *ad hoc*, que tiene que ver justamente con la validez de la consecuencia observacional misma.

3.4. Consecuencias

En conclusión, tanto porque en nuestras descripciones lingüísticas de la observación hay conceptos universales que dicen más de lo que se observa en la experiencia, como porque la observación misma no es del todo fiable, muchos consideran que las consecuencias observacionales no pueden ser verificadas, es decir, no se puede comprobar, sin lugar a dudas, que sean verdaderas o falsas.

De ser cierto, esto no invalida todo el análisis de la contrastación de hipótesis que vimos. Pero sí habilita otro modo de defender la hipótesis principal sometida a contrastación, diferente de la introducción de hipótesis *ad hoc* que culpen a las condiciones iniciales o a las hipótesis auxiliares. También, es posible retener la hipótesis, en un caso de una predicción que no se cumple, dudando justamente de que no se haya cumplido, es decir, dudando del enunciado básico en cuestión. Así, en el caso de la polémica entre ptolemaicos y copernicanos en la época de Galileo, además de estar en desacuerdo acerca del tamaño del universo, también diferían con respecto a ciertas observaciones realizadas sobre la presencia o no de cráteres en la luna.

Independientemente de que exista o no un fundamento último para la ciencia, tema que sigue en discusión, no se puede negar que para comprender ciertos debates científicos de la historia de la ciencia y de la actualidad, es necesario considerar estos dos sentidos en que la observación puede estar cargada de teoría.

Como veremos más adelante, además, las críticas a la carga teórica de la observación fueron minando también la concepción clásica de teoría. Este tipo de análisis, en particular el realizado por el filósofo de la ciencia Hanson, resultó muy influyente sobre la posición de Kuhn, que veremos en el siguiente apartado.

ACTIVIDAD 4

En la tercera parte de este capítulo se comienza a discutir la distinción teórico/observacional. Recuerden que tal distinción estaba presupuesta en la noción clásica de teoría científica. Los dos autores que se tratan en este punto son Popper y Hanson. Ambos proponen argumentos en contra de esta distinción. Popper sostiene que no es posible describir la observación sin trascenderla. Es decir, declara que los enunciados básicos están cargados de teoría y, por lo tanto, no pueden verificarse por la experiencia. Hanson afirma que la observación misma puede encontrarse influenciada por las teorías que sostenemos.

En base a lo visto al respecto, respondan las siguientes preguntas:

- a. En la Figura 6 puede verse una radiografía de los pulmones de una persona con neumonía:



Figura 6. Radiografía de los pulmones de una persona que padece neumonía.⁶

¿Qué diferencias hay entre lo que ustedes ven, lo que ve el médico que hizo el diagnóstico y lo que vería un niño de tres años en esta imagen, en términos de lo sostenido por Hanson?

- b. Una de las cosas que Galileo observó con su telescopio que no coincidía con la visión aristotélica del mundo fue que la luna tenía cráteres y montañas. En la Figura

⁶ Tomado de Wikipedia. <<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neumonia.JPG>> (Último acceso 6 de junio de 2015).

7 puede verse uno de los dibujos que realizó:



Figura 7. Dibujo de la Luna realizado por el mismo Galileo⁷

Tanto para Popper como para Hanson, el enunciado “La luna tiene cráteres” no es indubitable. ¿Qué diferentes razones daría cada uno de ellos?

c. Los científicos aristotélicos podrían haber rechazado (y, de hecho, lo hicieron) las observaciones de Galileo. También rechazaban el uso del telescopio, pues, concebían que permitía acercar visualmente objetos lejanos, pero en el mundo sublunar. Recuerden que para ellos, la física sublunar y la supralunar no coincidían. Esto implicaba no aceptar hipótesis auxiliares que Galileo aceptaba. Es decir, frente a una contrastación del geocentrismo que implicara la consecuencia observacional de que en el telescopio la luna se debería ver como una esfera perfecta, se podría utilizar una hipótesis *ad hoc* en contra de la hipótesis auxiliar de que el telescopio permite realizar observaciones astronómicas. Sin embargo, ahora, dada la carga teórica de la observación, la cuestión es más compleja. ¿En qué sentido la carga teórica de la observación habilita desacuerdos con respecto a la interpretación de los resultados de un experimento?

4. Concepción kuhniana de la ciencia

Thomas Kuhn (1922-1996) es el autor más influyente de los filósofos de la ciencia que en la década de los años setenta se opusieron a los enfoques anteriores, como el de Popper o como el de los empiristas lógicos, dando una mayor importancia a la historia de la ciencia. Por esto se ha llamado a este período “fase historicista”. Efectivamente, los primeros trabajos de

⁷ Tomado de Wikipedia. <[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileos_Original_Moon_Drawings_\(3053656871\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileos_Original_Moon_Drawings_(3053656871).jpg)> Último acceso 6 de junio de 2015.

Kuhn fueron sobre historia de la ciencia. Su primer libro es acerca de la Revolución copernicana. En sus estudios de historia de la ciencia notó, por un lado, que la noción de historia de la ciencia popperiana, como una sucesión de conjeturas y refutaciones, era demasiado simplificada y, por otro, que la noción de teoría de la Concepción heredada era inadecuada. Trataremos, a continuación, estas dos cuestiones.

4.1. Modelo de cambio científico

Kuhn fue originalmente un historiador de la ciencia. Su punto de vista es que el marco conceptual brindado por Popper y los empiristas lógicos no era suficiente para captar la complejidad del cambio científico. Por la misma época -en los años sesenta-, otros autores realizaron planteos semejantes (el epistemólogo austríaco Paul Feyerabend [1924-1994], el pensador inglés Stephen Toulmin [1922-2009], el matemático y filósofo de la ciencia húngaro Imre Lakatos [1922-1974], etc.). En este trabajo, elegimos a Kuhn como el más representativo e influyente de estos. La estructura de las revoluciones científicas (Kuhn, 1971) es su texto más influyente.

Algunas críticas de Kuhn a la metodología popperiana son las siguientes:

- Las teorías conviven desde su nacimiento con casos refutatorios (que Kuhn llama anomalías) y no por eso son abandonadas por los científicos, a diferencia de lo que el falsacionismo estricto de Popper aconsejaría.
- El abandono de una teoría y la aceptación de otra no se efectúa porque se haya hecho un experimento que corrobora una y refuta la otra. La cuestión es mucho más compleja, como se verá más adelante.
- La historia de la ciencia no puede ser vista como una sucesión de conjeturas y refutaciones. Según Popper, toda la historia de la ciencia podía ser pensada como la proposición de teorías que, una vez refutadas, resultan reemplazadas por nuevas teorías. Sin embargo,

señala Kuhn, en la historia de la ciencia notamos que hay dos tipos de cambio esencialmente distintos: cambios conservadores, en los que no se abandona el marco con el que se viene pensando la realidad ni las leyes con las que se la investiga, y cambios revolucionarios, en los que hay una suerte de “borrón y cuenta nueva”. Por ejemplo, una cosa son los cambios que se vienen realizando dentro del darwinismo hace décadas, y otra, la revolución que supuso reemplazar marcos fijistas o creacionistas por el darwinismo. Estos dos tipos de cambio no pueden ser vistos ambos como rechazo de teorías y adopción de nuevas teorías, pues son cualitativamente diferentes.

Kuhn considera, por lo tanto, que el aparato conceptual brindado por Popper y por los empiristas lógicos no es suficientemente rico, la ciencia es un fenómeno más complejo. Por esto propone un concepto más amplio que el de teoría, que es el de *paradigma* o *matriz disciplinar*. Una teoría, como recordarán, es en la Concepción heredada un conjunto de enunciados de distinto tipo. El paradigma incluye más cosas además de leyes: indicaciones de cómo y en dónde estas leyes se aplican, indicaciones acerca de los instrumentos que hay que utilizar y cómo utilizarlos, modelos de solución de problemas que son los que deben ser estudiados por los alumnos de la disciplina en cuestión, afirmaciones acerca de los constituyentes últimos del universo, etc. El paradigma sirve de guía a toda una comunidad de investigación durante una época. Los cambios revolucionarios son cambios de paradigma; los cambios no revolucionarios son los cambios dentro del paradigma. Un ejemplo de paradigma es, por ejemplo, el paradigma ptolemaico. El agregar o cambiar la forma de los epiciclos para dar cuenta de la posición de un planeta sería un ejemplo de cambio normal, en el que no se revisan los marcos conceptuales ni las leyes más generales del paradigma. El reemplazo del paradigma ptolemaico por el newtoniano, en el que se revisan aspectos esenciales del paradigma, sería un cambio revolucionario.

De este modo, el desarrollo de la ciencia no es acumulativo sino discontinuo. Hay momentos en que los científicos no se cuestionan para nada la verdad de las teorías en las que creen, seguidos por irrupciones de revoluciones que rompen con el curso de investigación científica anterior. Para entender la concepción de Kuhn, es necesario ir presentando otros conceptos. En particular, aquellos que permiten señalar las diversas etapas en las que se puede dividir la historia de una disciplina científica particular:

Ciencia normal: es la etapa en la que los científicos dedicados a un tipo de problema realizan sus tareas bajo la guía de un paradigma. El paradigma les dice cuáles son los problemas a resolver y cuál es la forma de resolverlos. En este período la comunidad científica considera que este tipo de problemas tienen solución asegurada dentro del paradigma. Tales problemas no son percibidos como poniendo a prueba el paradigma dominante, sino como poniendo a prueba la astucia de los científicos que trabajan en ellos. Por este motivo Kuhn los denomina “rompecabezas” (*puzzles*). En el período de ciencia normal la tarea de los científicos consiste principalmente en resolver rompecabezas, es decir, en articular los fenómenos con las teorías proporcionadas por el paradigma.

Tipos de reglas (usualmente no explícitas) proporcionadas por los paradigmas:

- Reglas que identifican los rompecabezas (lo que cuenta como problema) y restringen las posibles soluciones. Ejemplo: en el paradigma ptolemaico, en el cual todos los planetas e inclusive el Sol giraban en torno a la Tierra que se hallaba quieta en el centro del universo, todo movimiento planetario debía ser solucionado a partir de combinaciones de órbitas circulares con movimiento uniforme.
- Reglas que determinan qué instrumentos se pueden usar, cómo y en qué medios. No fue fácil para Galileo introducir el uso de telescopios en la astronomía. La astronomía simplemente se hacía de otro modo.

- Reglas acerca de qué entidades pueblan al mundo. Según distintos paradigmas, las entidades que conforman al mundo son diferentes. Según la física aristotélica, el mundo estaba compuesto de sustancias, conformadas a su vez por materia y forma. La forma podría tenerse en acto o en potencia. La actualización de la forma era lo que impulsaba a los movimientos naturales, como la caída de un cuerpo en el mundo sublunar.
- Compromisos relacionados con la actividad científica; por ejemplo, uno común a diversos paradigmas consiste en el mandato de que los científicos deben extender la precisión y el alcance del paradigma. Pero algunos compromisos metodológicos pueden diferir entre distintos paradigmas. Por ejemplo, aquellos en los que se privilegia cierto tipo de explicación por sobre otra. En la física aristotélica, por ejemplo, el hecho de que el mundo estuviera conformado por sustancias, y que estas tuvieran fines intrínsecos, implicaba un privilegio de las explicaciones finales, aquellas que explican un fenómeno indicando su meta o fin. La revolución copernicana, como vimos en el capítulo I, quitó de la escena de la física a la causa final. Los paradigmas pueden diferir, en consecuencia, en los distintos tipos de métodos explicativos utilizados.

Época preparadigmática: las primeras etapas de desarrollo de una disciplina muestran una gran cantidad de escuelas en competencia y la ausencia de una comunidad científica homogénea. Hay científicos pero no comunidad científica, dice Kuhn. Escuelas diferentes no comparten casi ninguna de las reglas presentadas anteriormente. Esto hace que no pueda haber un progreso acumulativo, pues los científicos se pasan discutiendo cuáles son los modos en los que se debe hacer ciencia, cuáles son las leyes generales que hay que aceptar, cuáles son los instrumentos adecuados, etc. Un ejemplo en astronomía podría estar constituido por el período presocrático. Pues en ese momento cada filósofo propone una cosmología diferente, reglas distintas para hacer ciencia, leyes diferentes, diferentes componentes últimos del universo, etc.

Es interesante señalar que Kuhn, según el mismo relata, tomó conciencia de la existencia de paradigmas cuando pasó, al empezar a trabajar en historia de la ciencia, del departamento de física al de humanidades. Según Kuhn, las ciencias sociales se encontrarían en el período preparadigmático. Tal vez esto sea un juicio inadecuado, no necesariamente el progreso en la física es igual al progreso en otras disciplinas, como muchos críticos de Kuhn han señalado. Volveremos más adelante sobre este punto.

Crisis y revoluciones científicas: durante la época de ciencia normal no se espera encontrar ninguna novedad teórica importante. Este período está caracterizado por la resolución de rompecabezas. De hecho, y en esto hay una fuerte influencia de Hanson, los científicos que en el período de ciencia normal se enfrentan a novedades teóricas que no siguen las leyes del paradigma, pueden llegar a no percibirlas en absoluto (como parecía ocurrir durante la dominación del paradigma aristotélico, en el que no se detectaban las novae –estrellas nuevas en el firmamento–). Si un científico propone una solución exitosa a un rompecabezas, se amplía la aplicabilidad del paradigma a la realidad, si no logra conseguir una solución exitosa, entonces el paradigma no suele ser el desacreditado, sino el científico mismo (noten que la oposición al falsacionismo popperiano, según el cual los científicos deben evitar salvar a teorías que han sido refutadas, es muy fuerte). Pero cuando persisten problemas que debieran ser resueltos, estos problemas pueden pasar de ser conceptualizados, ya no como “rompecabezas”, sino como *anomalías*. El científico se enfrenta a una anomalía cuando se reconoce que la naturaleza viola las expectativas creadas por el paradigma. En realidad, hay anomalías desde la fundación del paradigma. Kuhn rechaza de lleno el falsacionismo. Los paradigmas son irrefutables, en un sentido que ampliaremos más adelante. Pero cuando aumenta el número de anomalías, o bien, cuando se les empieza a dar más importancia

porque afectan a partes centrales del paradigma, o porque existe una necesidad social acuciante relacionada con estas y persisten en no ser solucionadas, el fracaso de la aplicación de las reglas del paradigma lleva a que este entre en “crisis”. Los científicos comienzan a “perder fe” en el paradigma.

Las anomalías cobran relevancia:

- si afectan a los fundamentos mismos del paradigma;
- si son importantes con respecto a alguna necesidad social apremiante;
- si se incrementa la cantidad de intentos de solucionarla y/o la cantidad de científicos dedicados a eliminarla en vano;
- si aumenta la cantidad de anomalías distintas.

En la época de crisis, algunos científicos (generalmente jóvenes, quienes no tienen tan incorporado el paradigma dominante en sus modos de pensar el mundo) empiezan a trabajar en perspectivas nuevas e incompatibles con las anteriores. La existencia de nuevas escuelas con formas de trabajar incompatibles recuerda al período preparadigmático, sin embargo en el período de crisis sigue existiendo un paradigma dominante. Estas prácticas incompatibles con el paradigma gobernante son llamadas por Kuhn “ciencia extraordinaria”. Son ejemplos de ciencia extraordinaria, los trabajos de Kepler y de Galileo durante el período de crisis del paradigma ptolemaico. También, es un científico extraordinario Darwin. Si alguna de estas perspectivas parece tener éxito en los campos en los que el otro paradigma era problemático y promete resolver otras cuestiones que ni siquiera aparecían como problemáticas en la agenda anterior, se comienza a instaurar un nuevo paradigma. Esto aumenta la crisis del paradigma antiguo. El grueso de los científicos comienza a pasarse al nuevo paradigma que les permite dejar atrás la sensación de inutilidad de su trabajo bajo el otro paradigma. Se produce una *revolución científica* cuando el nuevo paradigma reemplaza por completo al anterior.

La historia de la ciencia de una disciplina particular según Kuhn puede ser representada en una línea temporal según el gráfico de la Figura 8.

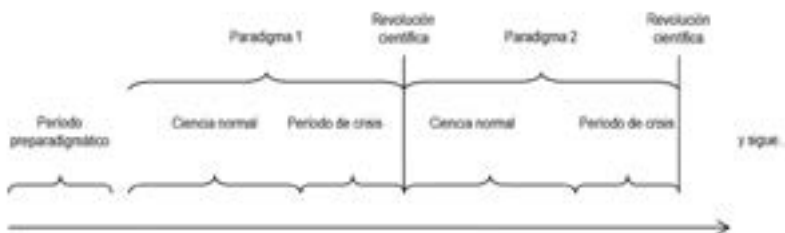


Figura 8. Representación en una línea temporal de los diferentes periodos señalados por Kuhn en la historia de la ciencia

Inconmensurabilidad y progreso: esta visión de la ciencia tiene consecuencias importantes y para algunos indeseables. Una de ellas es la inconmensurabilidad que según Kuhn puede haber entre diferentes paradigmas. Según Kuhn, el abandono de uno de los paradigmas y la adopción de otro no puede explicarse en función de argumentos concluyentes fundados en la lógica o en la experiencia.

Diferencias que puede haber entre paradigmas según Kuhn:

- Cada paradigma puede considerar al mundo constituido por entidades distintas. Para Newton el mundo está formado, no por sustancias, sino por átomos afectados por fuerzas.
- Pueden resultar relevantes distintos tipos de problemas y distintas formas de solucionarlos. En la astronomía newtoniana ya no es necesario reconstruir las órbitas de los planetas a través de círculos.
- Los defensores de paradigmas rivales pueden ver el mundo de diferente forma. El científico que quiera cambiar de paradigma tendrá que, en ese caso, reeducar su percepción, tendrá que aprender a ver el mundo como lo ven los que pertenecen al otro paradigma. La influencia de la carga de la observación de Hanson, aquí, es clara.

- Si bien el nuevo paradigma incorpora gran parte del vocabulario del paradigma anterior, los términos pueden resultar redefinidos. Así, el término “masa” se mantiene en la física relativista, pero cambia su significado, pues esta ya no se conserva, sino que varía según la velocidad. O bien, en el caso de la revolución copernicana, el término “planeta” se sigue utilizando, pero para los ptolemaicos la Luna y el Sol eran planetas, y la Tierra no, mientras que para los heliocentristas, la Tierra pasa a ser un planeta, el Sol deja de serlo y la Luna se convierte en un satélite.

Por estos motivos, los paradigmas pueden ser inconmensurables: en estos casos no existe ningún argumento lógico ni empírico que demuestre que un paradigma es superior a otro de manera concluyente, pues “no hay ninguna base común o neutra absoluta desde la cual medir ambos paradigmas”. Los científicos de distintos paradigmas subscriben a distintos conjuntos de normas. Puede ocurrir entonces que, según las normas del paradigma *A*, el paradigma superior sea el *A* y, según las normas del paradigma *B*, lo sea el paradigma *B*. Los distintos paradigmas son formas incompatibles de ver el mundo y de hacer ciencia.

Además, también puede ocurrir en estos casos que los científicos utilicen las mismas palabras pero con distinta significación (como en el caso de “planeta” antes mencionado). La comunicación entre ellos sería solo parcial estableciéndose una barrera en la comunicación.

Esto tiene consecuencias sobre la versión del progreso científico, pues si no hay forma objetiva de decir que cierto paradigma es superior a otro, por ejemplo, que el heliocentrismo es superior al geocentrismo, no hay forma objetiva de afirmar que la ciencia progresa. Según Kuhn, la ciencia progresa, pero tal progreso no es ni acumulativo ni se dirige hacia la verdad.

Muchos de sus contemporáneos lo atacaron fuertemente por esta idea de que diferentes paradigmas pueden ser inconmensurables. Pues, se lo acusa de relativista, irracionalista, etc. Sin embargo, para ser justos con Kuhn, que no haya razones concluyentes independientes de los paradigmas para la elección entre paradigmas, no implica que no haya razones en absoluto. Como el mismo Kuhn señala, estas razones no son absolutas porque dependen de los valores brindados por los mismos paradigmas. Es posible establecer una comparación entre dos paradigmas acerca de la capacidad predictiva de sus leyes. Pero esto solo resultará convincente a los científicos de ambos paradigmas si la capacidad predictiva es un valor compartido por ambos paradigmas. Puede ocurrir, y ha ocurrido en la historia de la ciencia, que paradigmas distintos tengan valores distintos. Por otro lado, en muchos casos pueden compartir cierto valor, como la simplicidad, y, sin embargo, diferir en su aplicación. Por ejemplo, otra vez si se considera a la Revolución copernicana, puede pensarse que la utilización de elipses es más simple que las combinaciones de círculos, porque se usa una elipse en lugar de muchos círculos, pero puede parecer también que el círculo es una figura más simple que la elipse.

Los paradigmas, por lo tanto, se pueden comparar, pero en relación con valores que no son objetivos, sino que son intraparadigmáticos. En algunos casos, tales valores son compartidos por paradigmas en competencia, lo cual simplifica la cuestión. En otros, los valores no son en su totalidad compartidos, como tal vez haya ocurrido en las revoluciones más radicales, como la copernicana y la darwiniana.

Inconmensurabilidad: dos paradigmas son inconmensurables si no existen razones concluyentes ni empíricas ni teóricas para señalar que uno es superior al otro. Es decir, si no existe una base ni empírica ni teórica común para compararlos.

4.2. La estructura del paradigma

Según lo visto en el punto anterior, esta visión de la historia de la ciencia es fuertemente incompatible con la que plantea Popper. Ahora veremos qué consecuencias tiene esta visión para la concepción clásica de las teorías científicas.

En el epílogo de su obra, incluido en ediciones posteriores, Kuhn señala con más claridad cuáles serían los componentes del paradigma. Entre estos, habría dos elementos centrales, cuyo análisis trae repercusiones para la concepción de teoría:

- Las generalizaciones simbólicas:

Kuhn cita, como ejemplo de generalización simbólica al segundo principio de la mecánica de Newton:

$$F = m \cdot a$$

Si aplicamos una fuerza a un objeto, este se acelerará de acuerdo con su masa. Cuanto más grande sea su masa, menos se acelerará.

Este principio, tal como señala Kuhn, es sumamente abstracto y general, y no puede ser abandonado sin abandonar el paradigma al cual pertenece. Según Kuhn, las generalizaciones no afirman casi nada del mundo, pero sirven de guía para la confección de leyes especiales que permiten encontrar soluciones a los diversos rompecabezas de los que se ocupan los científicos que trabajan bajo un paradigma. Por ejemplo, el segundo principio de Newton sirve para explicar el movimiento de los proyectiles en la Tierra; la aceleración de los objetos en caída libre; los movimientos de los planetas alrededor del Sol y de los satélites alrededor de los planetas; el movimiento de un péndulo; la forma en que chocan dos bolas de *pool*; etc. Pero para que un principio tan abstracto

dé cuenta de tales fenómenos, es necesario agregar contenido a dicho principio, es necesario especificar las fuerzas que se encuentran en juego en cada aplicación. Esta información no se encuentra incluida en la generalización simbólica. Las leyes especiales según las que se tratan estos casos requieren que se establezcan parámetros que en el segundo principio no se encuentran establecidos (cantidad de fuerzas en juego y naturaleza de estas fuerzas). Son leyes más específicas que se aplican a menos casos que la generalización simbólica, pero afirman más de estos casos que la generalización simbólica, que es sumamente abstracta.

Esto tiene una consecuencia interesante que va en contra de las concepciones anteriores en las que se suponía que la contrastación de teorías era equiparable a la contrastación de hipótesis. Pues, si las leyes especiales tienen más contenido o más información que la ley fundamental, entonces aquellas no pueden deducirse de esta. En la Concepción heredada las leyes especiales son hipótesis derivadas que se deducen de las leyes fundamentales y de las hipótesis auxiliares. Pero no es a través de hipótesis auxiliares, que la fuerza abstracta de la que se habla en el segundo principio asume la forma de la fuerza de gravedad en el principio de gravitación universal. Siendo este el caso, la generalización simbólica no es refutable por la experiencia. (Recuerden que en el enfoque clásico las consecuencias observacionales falsas refutan a las leyes de las que se deducen, justamente porque se deducen de ellas).

En síntesis, las generalizaciones simbólicas no implican lógicamente a las leyes especiales, por lo tanto, si algún péndulo no se comportara como dicta la ley de los péndulos de la mecánica clásica, esto no refutaría al segundo principio, puesto que esta ley especial de los péndulos no se deduce de este. El segundo principio sirvió de guía para confeccionar esta ley, pero no la implica lógicamente. Según Kuhn, las leyes fundamentales, si bien no en todos los casos son formalizadas

y matemáticas como en el caso del segundo principio, tendrían esta característica de ser irrefutables.

- Los ejemplares:

¿Cómo aprenden los científicos a aplicar generalizaciones simbólicas con tan poco contenido empírico? O, replanteemos una pregunta clásica: ¿cómo adquieren semántica empírica los conceptos que aparecen en las leyes fundamentales? (recuerden que en la Concepción heredada, esto se conseguía mediante el papel de las reglas de correspondencia). La respuesta de Kuhn es completamente distinta. En ambas respuestas tiene un rol fundamental otro de los elementos esenciales del paradigma: los ejemplares o ejemplares paradigmáticos. Un ejemplar es un caso de aplicación exitosa del paradigma realizada en el pasado. Como se dijo antes, las reglas que proporciona un paradigma son implícitas. ¿Cómo son adquiridas por los nuevos científicos? Según Kuhn, los científicos hacen ciencia como los hablantes de una lengua hablan un idioma. Siguen reglas, pero no necesariamente las pueden explicitar. Uno puede hablar perfectamente un idioma, es decir, aplicar perfectamente la gramática de ese idioma, sin poder listar las reglas que sigue. De hecho, aprendemos el idioma no a partir de que alguien nos cuente las reglas establecidas por la gramática, sino a través de ejemplos. Aprendemos a usar la palabra “perro” a partir de casos de perros (de ahí que sea tan difícil proponer definiciones de tales conceptos). Lo mismo ocurriría con los científicos bajo un paradigma. En un libro de texto no se encuentra explícita cuál es la forma de solucionar rompecabezas, es decir, cuál es la forma de aplicar la generalización simbólica. Se muestran ejemplares de cómo se ha aplicado la generalización simbólica en el pasado. En el examen de estos ejemplares, el científico se hace experto en el área, del mismo modo que un niño, con el tiempo, se vuelve un experto hablante de una

lengua. Son estos ejemplares los que cargan de significado empírico a los conceptos que aparecen en las leyes fundamentales.

Esta concepción, además, permite explicar por qué la historia de la ciencia que aparece en los libros de texto científicos (nos referimos a los manuales utilizados en las carreras de ciencia para enseñar la disciplina) suele presentarse tan desfigurada. La razón no es distinta de por qué la historia de la fundación de un país que se enseña en los colegios (o al menos se enseñaba) es también desfigurada. Pues, en ambos casos, la función principal no es aprender historia, sino generar en los estudiantes ciertos tipos de valores y afianzar ciertos comportamientos. Los puntos en los que la historia se deforma son varios: por un lado, siempre se muestra a los científicos del pasado, aunque tuvieran concepciones absolutamente incompatibles con los puntos de vista actuales, como si estuvieran trabajando en los mismos problemas que trabaja la comunidad científica bajo el paradigma actual. Así, no hay problema en atribuir al naturalista austríaco Gregor Mendel (1822-1884) enfoques que nunca sostuvo, o en deformarlo para que aparezca como un genetista actual (lo mismo con Copérnico, Darwin, etc.). Por otro lado, se muestra a la historia de la ciencia como si estuviera protagonizada por unas pocas personas (cuales próceres de la historia de un país), y no por comunidades de científicos. Finalmente, existen buenos y malos, la historia de la ciencia de manual es maniqueísta, hay por un lado científicos que luchan para que la razón se imponga, que tienen que luchar contra sujetos que no se apegan al *método científico*, que persiguen fines oscurantistas. De esta deformación, sostiene Kuhn, es que surge la idea de la ciencia como una acumulación de éxitos, y la idea de que el progreso es acumulativo y lineal. La realidad es según Kuhn completamente distinta. Kepler es mejor comprendido si se lo piensa como un pitagórico. Se comprende mejor a Mendel si, en lugar de ser considerado el padre de la genética, lo pensamos como

el último de los hibridadores (aquellos que estudiaban la posibilidad de que surgieran especies estables a partir de cruza entre especies diferentes [Lorenzano, 1997]). La intención de la historia de la ciencia presentada en los manuales, entonces, consiste en presentar una serie de ejemplares con la meta de que los estudiantes adquieran la forma de ver el mundo determinada por el paradigma en consideración.

El siguiente texto de Kuhn al respecto es más que elocuente:

Si se considerase como algo más que un acervo de anécdotas o como algo más que mera cronología, la historia podría provocar una transformación decisiva en la imagen de la ciencia que ahora nos domina. Dicha imagen ha sido extraída inicialmente, incluso por los propios científicos, sobre todo del estudio de los logros científicos acabados tal como se registran en los clásicos y, más recientemente, de los libros de texto en los que cada nueva generación científica aprende la práctica de su oficio. Sin embargo, es inevitable que el objetivo de tales libros sea propagandístico y pedagógico, de manera que la idea de ciencia que de ellos se desprende no tiene más probabilidades de describir adecuadamente la empresa que los ha producido de lo que las tiene la imagen de la cultura nacional extraída de un folleto turístico o de un manual del idioma. Este ensayo trata de mostrar que hemos sido engañados por ellos en aspectos fundamentales. Su objetivo es bosquejar el concepto totalmente distinto de ciencia que puede surgir de los registros históricos de la propia actividad investigadora.

Con todo, ni siquiera la historia nos proporcionará ese nuevo concepto si los datos históricos siguen buscándose y examinándose principalmente para responder a las preguntas planteadas por el estereotipo ahistórico extraído de los textos de ciencia. Por ejemplo, a menudo tales textos han parecido dar a entender que el contenido de la ciencia queda ejemplificado exclusivamente por las observaciones, leyes y teorías descritas en sus páginas. Casi con la misma regularidad, se han interpretado esos mismos libros en el sentido de que los métodos científicos son sencillamente los ejemplificados por las técnicas de manipulación utilizadas al recoger los datos del texto, junto con las operaciones lógicas empleadas para relacionar esos datos con las generalizaciones teóricas del propio libro de texto. El resultado de ello ha sido un concepto de ciencia con profundas implicaciones acerca de su naturaleza y desarrollo.

Si la ciencia es la constelación de hechos, teorías y métodos recogidos en los textos al uso, entonces los científicos son las personas que, con éxito o sin él, han intentado

aportar un elemento u otro de esa constelación concreta. El desarrollo científico se convierte así en el proceso gradual mediante el cual esos elementos se han sumado, uno a uno y en combinación, al acervo siempre creciente que constituye la técnica y el conocimiento científicos. (Kuhn, 1971, pp. 23-24)

Esta situación resulta vital. Pues, no hay área en la que haya tantos mitos como en la historia de la ciencia (Colón descubrió que la Tierra era redonda, Darwin es el primer evolucionista, etc.). Por otra parte, la ciencia que se estudia y se divulga generalmente se encuentra desconectada de su historia, y se presenta, a veces, como un conjunto de resultados, sin ninguna consideración respecto a cómo esos resultados surgieron. Con esto se pierde la reflexión metodológica, que es esencial a la educación científica.

Por último, existe otra diferencia con la Concepción heredada en todo este enfoque. Según esta, no había reflexión filosófica posible acerca del contexto de descubrimiento. Aquí, la cuestión es diferente. Es esencial para la comprensión del funcionamiento del paradigma el papel de los ejemplares, y lo que los ejemplares indican es, justamente, el modo en que deben solucionarse los rompecabezas. Los descubrimientos científicos son, en etapa de ciencia normal, soluciones en base a tales ejemplares. Toda esta reflexión es, por lo tanto, en parte, acerca del descubrimiento. No es posible separar la cuestión de la forma en que los conceptos adquieren semántica empírica (cuestión que caía en el enfoque clásico en el contexto de justificación) de temáticas acerca del descubrimiento. De este modo, se rompe la distinción tajante entre contexto de justificación y descubrimiento, y parece que la filosofía de la ciencia no puede dar respuesta a los interrogantes que se plantea restringiéndose solo a cuestiones de justificación y de lógica.

4.3. Influencias

La estructura de las revoluciones científicas (Kuhn, 1971) ha sido probablemente el más influyente de los escritos que surgieron del ámbito de la filosofía de la ciencia. Esto se explica por el desplazamiento conceptual que ha sufrido el concepto de paradigma. En el lenguaje natural originalmente un *caso paradigmático* de una clase es un caso representativo de la misma. Así, un mamífero paradigmático es la vaca (y no, por ejemplo, el murciélago). La razón por la cual Kuhn utiliza el término “paradigma” para referirse a la matriz disciplinar compartida por una comunidad científica tiene que ver con la idea de que lo que esos científicos comparten es un conjunto de casos paradigmáticos de cómo se hace ciencia (los ejemplares). Cada vez que, actualmente, el término “paradigma” es utilizado en el lenguaje natural como constelación de creencias compartidas, como cuando se dice el “paradigma surrealista”, o el “paradigma neocapitalista”, se utiliza la palabra con el desplazamiento conceptual que Kuhn le imprimió.

¿Por qué este libro de Kuhn fue tan influyente? En cuanto a su influencia dentro de la filosofía de la ciencia, si bien ha habido muchos discutidores de lo adecuado de la “pintura” que hace Kuhn de la historia de la ciencia, es indiscutible que el marco conceptual que ofrece ha sido muy fructífero. Los que lo discutieron lo tuvieron que hacer apelando a sus conceptos. Antes que Kuhn, muchos fenómenos de la historia de la ciencia carecían de nombres y conceptos para ser claramente comprendidos. De hecho, es importante distinguir entre el marco conceptual propuesto por Kuhn y las afirmaciones que él mismo hace con ese marco conceptual. Por ejemplo, como ya adelantamos, consideraba que las ciencias sociales se encontraban en el período preparadigmático. Es posible discutir este punto con Kuhn, y de hecho, existen intentos fructíferos de análisis de diversas disciplinas

de las ciencias sociales en base a la propuesta kuhniana (por ejemplo: Minhot, 2003). Lo mismo ocurre con la idea de Kuhn de que en una disciplina no pueden convivir paradigmas. Solo habría un paradigma cuando la comunidad científica completa se encuentra bajo su guía. Este requisito parece inadecuado, puesto que existen áreas (como en las ciencias sociales, en la psicología, en la biología) en las que los paradigmas parecen convivir, con todas las características señaladas por Kuhn (salvo el monopolio de la investigación). Es posible aplicar las nociones de Kuhn a tales áreas de manera genuina.

Por otro lado, en cuanto a influencias por fuera del ámbito de la filosofía de la ciencia, la historia de cómo los científicos cambian de creencias está fuertemente relacionada con cómo cada uno de nosotros en la vida cotidiana cambia de creencias. La inconmensurabilidad entre paradigmas científicos tiene ciertos rasgos similares con la inconmensurabilidad que, a veces, existe entre personas de diferentes clases, países, religiones, etc., en una misma sociedad. El marco kuhniano, sin pretenderlo, resulta útil y esclarecedor de muchas problemáticas de la vida cotidiana, y la lectura de *La estructura de las revoluciones científicas*, por lo tanto, resulta fuertemente reveladora de los modos en que categorizamos y pensamos el mundo cotidiano. Es un ejercicio interesante preguntarse, cuando uno se encuentra inmerso en un debate acerca del tema que fuere, si no existe algún tipo de inconmensurabilidad en las posiciones. Por ejemplo, suele ocurrir que en los debates que suelen darse en la sociedad, se utilicen los mismos términos con sentidos muy diferentes. O puede ser que las normas evaluativas o los valores presupuestos sean distintos. El punto es entender que, en estos casos, la toma de conciencia de tal inconmensurabilidad puede guiar a discusiones estancadas hacia caminos más fructíferos.

La concepción kuhniana resulta sumamente productiva para pensar la historia de la ciencia.

El objetivo de las actividades que se presentan a continuación es que aprendan a utilizar algunos de los conceptos del marco conceptual de Kuhn (paradigma, ciencia normal, ciencia extraordinaria, crisis, revolución, anomalía, rompecabezas, inconmensurabilidad, etc.) para interpretar casos de historia de la ciencia.

ACTIVIDAD 5

1. Lean atentamente el siguiente texto de Kuhn:

Al examinar los documentos de la investigación del pasado desde el punto de vista de la historiografía contemporánea, el historiador de la ciencia puede sentir la tentación de proclamar que cuando cambian los paradigmas, el propio mundo cambia con ellos. Guiados por un nuevo paradigma, los científicos adoptan nuevos instrumentos, miran en lugares nuevos y, lo que resulta más importante, durante las revoluciones ven cosas nuevas y diferentes cuando miran con instrumentos familiares en lugares en los que ya antes habían mirado. Parecería más bien como si la comunidad profesional hubiese sido transportada repentinamente a otro planeta en el que los objetos familiares se viesen bajo una luz diferente, estando además acompañados por otros que no resultan familiares. Por supuesto, no ocurre nada por el estilo; no hay ningún traslado geográfico y fuera del laboratorio los asuntos ordinarios continúan normalmente como antes. Con todo, los cambios de paradigma hacen que los científicos vean de un modo distinto el mundo al que se aplica su investigación. En la medida en que su único acceso a dicho mundo es a través de lo que ven y hacen, podemos estar dispuestos a afirmar que tras una revolución los científicos responden a un mundo distinto.

Las demostraciones conocidas de los cambios en la Gestalt visual resultan muy sugerentes en cuanto prototipos elementales de estas transformaciones del mundo de los científicos. Lo que antes de una revolución eran patos en el mundo del científico, son conejos después de ella. La persona que antes veía el exterior de una caja desde arriba, ve luego su interior desde abajo. Las transformaciones de este tipo acompañan comúnmente al proceso de aprendizaje científico, por más que en general sean más graduales y casi siempre irreversibles. Al mirar las curvas de nivel, el estudiante no ve más que líneas sobre un papel allí donde el cartógrafo ve una imagen del terreno. Al mirar una fotografía de una cámara de niebla, el estudiante sólo ve líneas discontinuas y confusas, mientras que el físico ve un registro

de sucesos subnucleares familiares. Es preciso pasar por algunas de esas transformaciones de la visión antes de que el estudiante se convierta en un habitante del mundo del científico, capaz de ver lo que ve el científico y capaz de responder como él. Con todo, el mundo al que tiene entonces acceso el estudiante no está fijado de una vez por todas ni por la naturaleza del medio, por una parte, ni por la naturaleza de la ciencia, por la otra. Más bien está determinado conjuntamente por el medio y por la particular tradición de ciencia normal en la que el estudiante ha sido entrenado. Por consiguiente, en tiempos revolucionarios, cuando cambia la tradición de la ciencia normal, la percepción que tiene el científico de su medio ha de reeducarse; en algunas situaciones familiares, ha de aprender a ver una nueva Gestalt. Una vez que lo haya hecho, el mundo de su investigación parecerá ser aquí y allá inconmensurable con aquel que habitaba antes. Ésta es otra de las razones por las que las escuelas guiadas por paradigmas diferentes siempre se enfrentan a algunos malentendidos. (Kuhn, 1971, pp.193-195)

2. Resuelvan las siguientes consignas, teniendo en cuenta este fragmento y la parte del capítulo correspondiente:

- a. Hanson ha influenciado profundamente sobre las concepciones de Kuhn. Describan tal influencia en el fragmento citado.
- b. Al analizar las posiciones de científicos que trabajaron en paradigmas diferentes da la sensación de que habitaran mundos distintos. Esto conduce a Kuhn a pensar que los paradigmas son inconmensurables, ¿en qué consiste esta inconmensurabilidad?

ACTIVIDAD 6

1. Lean detenidamente el siguiente texto:

Hacia fines del s. XIX, dos posiciones encontradas comenzaron a surgir y a competir. Una de ellas inscripta dentro de la concepción creacionista y fijista (creación divina de las especies vivientes e inmutabilidad posterior de ellas) fue sostenida por varios autores, aunque el más famoso de ellos fue George Cuvier, joven y reconocido científico francés de origen alemán, autor de la teoría conocida como Catastrofismo.

Cuvier postulaba que debido a una serie de cataclismos, la mayor parte de los organismos vivos habían sido extinguidos sucesivamente, repoblándose el mundo a partir de aquellos organismos que se habían salvado de la destrucción (algunos autores más extremistas postulaban una extinción total

y un repoblamiento a partir de sucesivas creaciones divinas). Como evidencia habían quedado las conchas lejos de los actuales mares y los enormes huesos de animales antediluvianos. La última y mejor conocida de las catástrofes fue el diluvio bíblico.

Cuvier tuvo un gran contrincante, Lamarck, quien se opuso a la teoría catastrofista, argumentando que muchas conchas fósiles que aparecían en perfectas condiciones (íntegras y a veces aun unidas entre sí, a pesar de su fragilidad), muy lejos del mar, difícilmente podrían haber resistido intactas los cataclismos propuestos por su colega.

La disputa entre los dos investigadores pasó al plano personal y Cuvier ejerció toda su influencia científica y política, amén de sus grandes condiciones como orador para ridiculizar las teorías opuestas a las suyas, sostenidas por Lamarck. La teoría evolucionista sostenida por Lamarck fue la primera coherentemente presentada y apoyada en hechos comprobables a diferencia de algunos intentos de explicaciones especulativas acerca del transformismo expresadas por autores como Erasmus Darwin, abuelo de Charles Darwin. La teoría fue presentada en el libro *Filosofía zoológica*, aparecido en 1809. Allí Lamarck planteaba cómo los diferentes lugares del mundo difieren entre sí por el clima, los suelos, etc. Pero, éstos, además van cambiando lentamente por sucesivos cambios ambientales. Los cambios son tan lentos que no son percibidos claramente por los hombres, quienes consideran al ambiente como estable. Dichos cambios ambientales provocan cambios en los animales que viven en cada lugar.

Mediante la formulación de dos leyes fundamentales del transformismo, Lamarck intenta fundamentar su teoría:

- Durante la vida de los animales, éstos ejercitan el uso de ciertos órganos y entran en desuso otros. Los usados se ven fortalecidos y desarrollados; en cambio los desusados se van debilitando (Ley del uso y desuso de los órganos).
- Los cambios pequeños y graduales que experimentan en vida los individuos de una especie son transmitidos a sus descendientes (Ley de la herencia de los caracteres adquiridos).

Lamarck consideraba que la causa, motor o mecanismo de los cambios es un sentimiento interior de los animales que los induce a cambiar sus hábitos.

Ya es clásico el ejemplo acerca de la jirafa que utilizó Lamarck. Dice Lamarck:

“La jirafa, el más alto de los mamíferos, vive en el interior de África, en

lugares donde hay poca hierba, por lo que se alimenta de las hojas de los árboles. El permanente esfuerzo por alcanzarlas ha hecho que sus patas delanteras sean mucho más largas que las traseras, y que su cuello se haya estirado notablemente”.

Sin embargo, la teoría de Lamarck no fue considerada seriamente e incluso fue ridiculizada por Cuvier, quien reparando en la ceguera de Lamarck, insinuaba que él mismo era el mejor contraejemplo de su ley de uso y desuso: el uso de los ojos para leer debería haberlos desarrollado y no cegado. Asimismo se cuestionaba la herencia de los caracteres adquiridos mencionando el hecho de que los niños judíos nacían con prepucio a pesar de miles de años de circuncisión. Respecto a los cambios evolutivos en general, Cuvier había estudiado momias egipcias de ibis (un ave) y comprobó que no diferían de los actuales ibis. Las críticas hechas al transformismo de Lamarck hicieron que esta teoría fuera descalificada durante medio siglo (aunque siguió siendo sostenida por autores como Geoffroy de Saint Hilaire).⁸

(Flichman, Paruelo y Pissinis, 2004, pp. 165-167, [fragmento levemente modificado con fines didácticos])

2. Respondan las siguientes consignas:

- Identifiquen y describan los dos enfoques en competencia.
- Consideren la situación en la que se encuentra la disputa, ¿en qué período histórico de los relatados por Kuhn les parece que se ubican estos autores?
- Señalen las anomalías mencionadas de cada uno de los enfoques.
- ¿Qué motivos podría aducir Kuhn para explicar por qué Cuvier y Lamarck no lograron llegar a un acuerdo? alguna de las razones esgrimidas por los participantes en la disputa, ¿podría considerarse, según Kuhn, concluyente?
- En el marco kuhniano, ¿podría sostenerse como “refutatorio” (en sentido estricto) del enfoque de Lamarck, la observación de que los ibis momificados no comportan cambios con respecto a los actuales?

ACTIVIDAD 7

1. Lean atentamente el siguiente texto:

A comienzos del siglo XVI sólo se tenían sobre el mecanismo de la generación animal ideas muy vagas y completamente dominadas por lo

⁸ La disputa de la que trata el texto es anterior a la publicación del *El origen de las especies* de Darwin, en donde se presenta la Teoría de la evolución por selección natural, que finalmente fue aceptada, y continúa siéndolo, por la comunidad científica. Finalmente, ninguno de los puntos de vista de los que trata el texto terminó siendo aceptado. Pero, por supuesto, sí es aceptada unánimemente entre los científicos, la evolución. En esto tenía razón Lamarck, aunque no en el mecanismo por el que esta ocurre.

que se creía sólo de la generación humana. De manera general, se seguía la opinión de los antiguos (Hipócrates), según la cual el embrión se forma por la mezcla de dos simientes respectivamente producidas por ambos padres. Descartes (1596-1650), por ejemplo, aunque admita que «siendo la simiente de las plantas dura y sólida puede tener dispuestas y situadas sus partes de tal forma que no podrían cambiarse sin ser inutilizada», hace derivar el embrión animal de la «mezcla confusa de dos licores. Sirviéndose mutuamente de levadura, se calientan de tal manera que algunas de sus partículas adquieren la misma agitación que si estuviesen en el fuego, se dilatan y empujan a las demás y, de esta manera las disponen poco a poco del modo que la formación de los miembros requiere.»

Era natural que explicaciones de este género —que fuesen mecanicistas a la manera de Descartes—, no pudieran gozar de un crédito muy duradero. A medida que el estudio de las estructuras orgánicas, revelaba, gracias al microscopio, que poseían una mayor complejidad, se fue precisando más la dificultad de comprender cómo se forma, mediante la generación, un nuevo ser orgánico, lo que condujo a tratar de evitarla, suprimiéndola, pura y simplemente. Para ello, se dará por supuesto que el nuevo ser no se forma, sino que está ya completamente formado, que preexiste enteramente y en pequeñísimo estado como corpúsculo organizado o germen. En tal hipótesis, la generación propiamente dicha ya no existe, y sólo hay un mero agrandamiento del germen, una ampliación, una dilatación que lleva a lo visible a un animal hasta entonces tan minúsculo que escapaba a la vista. Se llamó a este enfoque “preformacionismo”.

A partir de esta época, y aunque no se conociese todavía el huevo de los mamíferos (sólo será descubierto en 1827), se suponía gracias a los trabajos de Stenon, y sobre todo de Regnerus de Graaf, que todos los animales, incluso los vivíparos, engendran por medio de huevos. Siguiendo su tendencia muy natural, los preformacionistas tomaron el huevo en primer lugar como germen universal; es en el progenitor hembra, en la madre, donde es—tablecerán esas miniaturas de animal sin lo cual no conciben explicación alguna del fenómeno de la reproducción. En cuanto al papel que desempeña el progenitor macho, el padre, queda reducido a poquísima cosa, sin atribuir a la simiente otro efecto que el de estimular el crecimiento del animalito preformado que contiene el huevo.

La doble autoridad de Malpighi y de Swammerdam otorgaba un crédito considerable a esta tesis «ovista»; pero pronto se produjo el descubrimiento de los animálculos espermáticos (los espermatozoides), lo que provocó una grave disidencia entre los partidarios del preformacionismo germinal. Leeuwenhoek no vaciló, en efecto, en considerar a estos animálculos como

verdaderos gérmenes de los animales. [...] Sea lo que fuere, era necesario, tanto para unos como para otros, explicar el origen de los gérmenes preformados; y también aquí dábanse libre curso las preferencias gratuitas. Érase partidario de la «diseminación» o partidario del «encaje» y, como cada una de ambas tesis podía conciliarse tanto con el ovismo como con el animalculismo, aparecieron cuatro maneras diferentes de pensar sobre la cuestión de la generación: ovismo con encaje, ovismo con diseminación, animalculismo con encaje, animalculismo con diseminación.

Según los partidarios de la diseminación, todos los gérmenes de los animales se encuentran desde siempre esparcidos por todos los lugares, pero sólo se desarrollan a condición de encontrar en la naturaleza matrices adecuadas o cuerpos de una misma especie, que sean capaces de fomentarlos y de hacerlos crecer.

En resumidas cuentas, según la tesis diseminacionista el animal obtiene sus gérmenes de fuera: los recibe por la respiración o la alimentación, y sólo debe su propia fecundidad a una como infestación exógena. Tales gérmenes existen desde siempre, o cuando menos desde el momento de la Creación; se encuentran en todo lugar, puesto que no hay sitio alguno de la tierra en que un animal no pueda adquirir la fecundidad; su número es inmenso, aunque tal vez no sea infinito, por lo que bien pudiera ocurrir que las especies se extinguieran por agotamiento de la provisión inicial. [...]

Si, debido al estupor que acababan de motivar los primeros descubrimientos microscópicos, la tesis del encaje de los gérmenes y, generalizando más, la de la preformación, encontraba en muchas mentes un terreno propicio, en otras no dejaba de suscitar vivísimas resistencias.

Estas últimas rechazaban pura y simplemente la noción de gérmenes preformados, que traía consigo tan escandalosas consecuencias. Resistiéndose a admitir que un animal en miniatura pudiera alojarse en un huevo o en un animálculo espermático, permanecían fieles a la idea de la epigénesis, y sostenían que el animal se constituye poco a poco por sucesivas agregaciones.

[...]

Así, por un lado, los partidarios de los gérmenes —ovistas o animalculistas—, que tienen en cuenta hechos precisos pero mal interpretados, de los cuales extraen consecuencias fantásticas; por el otro, los epigenéticos, quienes, chocados por la extravagancia de dichas hipótesis, sólo saben oponerles la burda doctrina de la mezcla seminal.

Así, los preformacionistas podían explicar cómo se desarrollaban los organismos, pero no podían explicar con éxito el origen de los gérmenes. Por otro lado, las observaciones no los favorecían. Los epigenistas se

ajustaban más a lo observado pero no podían explicar cómo una materia sin forma adquiere la forma de un organismo vivo.

Esta polémica se sostuvo hasta que, en el siglo XX se impuso en toda la comunidad científica la genética clásica que brindaba una respuesta mucho más elaborada del proceso de formación del organismo vivo, que ni preformacionistas ni epigenistas podrían haber imaginado. (Rostand, 1994, pp. 17-26, [fragmento levemente modificado con fines didácticos])

2. Respondan las siguientes preguntas:

- a. De acuerdo con lo leído, y siguiendo a Kuhn, ¿a qué período de la ciencia (preparadigmático, ciencia normal, crisis) pertenecería la polémica entre epigenistas y preformacionistas?
- b. ¿Cuáles son los diferentes enfoques en cuestión?
- c. ¿Puede sostenerse que tales enfoques son paradigmas?
- d. ¿Qué motivos metateóricos podría aducir Kuhn para explicar por qué preformacionistas y epigenistas no lograron llegar a un acuerdo? ¿Alguna de las razones esgrimidas por los participantes en la disputa podría considerarse, según Kuhn, concluyente?
- e. ¿Cómo catalogarían el paso de esta disputa al afianzamiento de la genética clásica en el marco kuhniano (es decir, a qué período de los señalados por Kuhn correspondería)?

ACTIVIDAD 8

Recordemos los casos históricos vistos en el capítulo I. Tengan en cuenta, primero, la Revolución copernicana.

- a. Consideren el período del siglo XVII cuando Kepler y Galileo realizaron sus investigaciones. Según el enfoque de Kuhn, identifiquen y describan cuáles son los dos paradigmas en pugna en aquel momento.
- b. Señalen lo que Kuhn caracterizaría como anomalías y como rompecabezas del paradigma geocentrista. ¿Qué diferencia hay entre estos dos conceptos?
- c. Kepler y Galileo son científicos que realizaron actividades extraordinarias por fuera de lo determinado por el paradigma dominante. ¿En qué etapa piensan que se encontraba el paradigma dominante? Justifiquen.
- d. ¿Cuándo dirían, según lo expresado en el texto, que se ha instaurado el nuevo paradigma y ha concluido la revolución?
- e. La Revolución copernicana, relatada en el fragmento de texto, fue definitivamente una revolución muy lenta. ¿Qué razones podría argumentar Kuhn sobre la tardanza de los científicos en decidirse a cambiar de paradigma?
- f. ¿En qué sentido difieren en sus concepciones con respecto al mundo? En ambos

paradigmas, ¿cuáles son los métodos adecuados para estudiarlo?

g. ¿Por qué motivo la frase “Los planetas giran alrededor del Sol” no significa lo mismo en cada uno de los dos paradigmas en pugna?

ACTIVIDAD 9

Vuelvan sobre la Revolución darwiniana.

- a. Distingan entre el paradigma de la teología natural y el darwinista, señalando:
 - diferencias entre las formas que explicaban el fenómeno de la adaptación;
 - diferencias en las concepciones metafísicas acerca del mundo y las diferencias con respecto a la metodología aceptable en ambos paradigmas;
 - los diferentes tipos de rompecabezas que se dedicaban a resolver.
- b. Un caso interesante de un mismo término con significados completamente distintos en el marco creacionista y en el darwiniano, es “homología”. Expliquen por qué tal término, como “planeta” o “masa”, puede servir para ejemplificar una de las formas de la inconmensurabilidad kuhniana.

ACTIVIDAD 10

Aunque las posiciones de Popper y de Kuhn resultan difícilmente conciliables, ambos comparan sus puntos de vista con los de Darwin. Según Popper:

Quizá podamos responder ahora a la pregunta acerca de cómo y por qué aceptamos una teoría con preferencia a otras. Ciertamente, tal preferencia no se debe a nada semejante a una justificación experimental de los enunciados que componen una teoría [...]. Elegimos la teoría que se mantiene mejor en la competición con las demás teorías, la que por selección natural muestra ser más apta para sobrevivir; y ésta será la que no solamente haya resistido las contrastaciones más exigentes, sino que sea, asimismo, contrastable del modo más riguroso. (Popper, 1971, p. 103)

Según Kuhn:

El aspecto más difícil y perturbador de la teoría darwinista era la creencia en que la selección natural, provocada por la mera competencia entre los organismos en aras de la supervivencia, pudiera haber producido al ser humano junto con los animales y plantas superiores. ¿Qué habrían de significar evolución, desarrollo y progreso en ausencia de una meta específica? Para muchas personas tales términos se mostraron de pronto como autocontradictorios.

Es fácil llevar demasiado lejos la analogía que conecta la evolución de los organismos con la evolución de las ideas científicas, pero por lo que respecta

a las cuestiones planteadas en este capítulo final resulta casi perfecta. El proceso descrito en el capítulo XII como la resolución de las revoluciones es la selección mediante el conflicto dentro de la comunidad científica del modo más apto de practicar la ciencia futura. El resultado neto de una sucesión de tales selecciones revolucionarias, separadas por periodos de investigación normal, es el conjunto maravillosamente adaptado de instrumentos que llamamos conocimiento científico moderno. Los sucesivos estadios de dicho proceso de desarrollo están marcados por un aumento en la articulación y la especialización. Además, todo este proceso puede haberse producido, tal como suponemos ahora que ocurrió con la evolución biológica, sin recurso a una meta establecida, a una verdad científica fija y permanente, de la que cada estadio del desarrollo del conocimiento científico constituye una imagen mejor. (Kuhn, 1971, pp. 287-288)

Tengan en cuenta ambos fragmentos y lo ya leído sobre Darwin. Luego expliciten qué aspectos de su enfoque pretenden aclarar con la analogía y, exactamente, con qué rasgo de la teoría de Darwin se hace tal analogía.

5. El problema de la teoriedad

Una de las cuestiones que más discusión provocó en la filosofía de la ciencia respecto a los supuestos de la Concepción heredada es la supuesta división entre términos observacionales y teóricos. En el enfoque clásico, la distinción entre términos observacionales y teóricos se hacía en base a la observabilidad directa o no de las entidades a las que los términos refieren. Según los defensores de la carga teórica de la observación esta distinción es imposible en estos términos, puesto que la observación está cargada de teoría. Kuhn, influenciado por estos críticos, dejó de lado la reflexión con respecto a posibles distinciones entre los conceptos de una teoría.

Hubo un grupo de filósofos de la ciencia cuyas críticas se centraron en otros problemas de la distinción, que resulta interesante repasar en este apartado. La intuición detrás de estas críticas es que detrás de la distinción teórico/observacional existen dos distinciones mezcladas. La

teórico/no teórico, por un lado, y la observacional/no observacional, por el otro. Surgía entonces el problema de caracterizar la “teoricidad” independientemente de la “observabilidad”.

Repasemos la situación. Intuitivamente es posible separar en dos grupos los conceptos no lógicos de una teoría científica, por ejemplo, en la genética clásica claramente existe una diferencia entre el concepto de *gen* y el de *rasgo*. La respuesta clásica a la cuestión, consiste en señalar que los rasgos (pelaje blanco, semilla rugosa) son observables mientras que los genes (gen para el color de pelaje blanco, o gen para la superficie de la semilla rugosa) son teóricos, es decir, no observacionales. En los ejemplos que acabamos de citar, la distinción parece funcionar. Sin embargo, si nos percatamos de que también puede ser un rasgo, por ejemplo, el tipo sanguíneo (que se refiere a ciertas propiedades de los glóbulos rojos que no son observables directamente), comienzan a surgir problemas. Debe existir otro modo de elucidar esta distinción entre estos conceptos.

En 1970, Carl Hempel (1905–1997) escribió un artículo señalando todos los problemas de la Concepción heredada que el mismo había defendido tiempo atrás: “Sobre la concepción estándar de teoría” (Hempel, 1970). En este artículo, señala varios problemas que a esa altura le parecían insuperables, por los cuales era necesario abandonar esta concepción de teoría. Al comienzo del artículo, plantea una distinción para reemplazar la clásica entre conceptos teóricos y observacionales. Dado que la distinción observacional/no observacional era cuestionable, propone, entonces, enfocarse en la distinción teórico/no teórico. Según Hempel, la diferencia entre los conceptos no lógicos de una teoría consiste en que ciertos conceptos son propuestos por la teoría, mientras que otros se encontraban disponibles con anterioridad a la misma y, por lo tanto, eran comprensibles independientemente de la teoría.

La distinción es presentada por Hempel a través del siguiente fragmento:

La formulación de una teoría puede consistir en la enunciación de proposiciones de dos tipos; para abreviar permítasenos llamarlas principios internos y principios puente. Los principios internos sirven para caracterizar el ambiente o escenario teórico: especifican las entidades básicas y los procesos propuestos por la teoría, así como las leyes teóricas que se asume que los gobiernan. Los principios puente, por otra parte, indican las maneras en las cuales el escenario está relacionado con los fenómenos ya examinados previamente y que la teoría pretende explicar.

Si I y P son los conjuntos de principios internos y puente por medio de los cuales una teoría T es caracterizada, entonces T puede ser representada como una pareja ordenada de dichos conjuntos:

$$(1a) T = (I, P)$$

o de manera alternativa y apelando aún más a lo intuitivo, T puede ser representada como el conjunto de las consecuencias lógicas de la unión de los dos conjuntos:

$$(1b) T = c(I \cup P)$$

En la formulación de los principios internos se hace uso generalmente de un vocabulario teórico V_t , esto es, de un conjunto de términos no empleados en anteriores descripciones y generalizaciones acerca del fenómeno empírico que T pretende explicar, sino que más bien han sido introducidos específicamente para caracterizar el escenario teórico y sus leyes. Evidentemente, los principios puente contendrán a ambos, es decir, los términos de V_t y los del vocabulario usado en las descripciones y generalizaciones originales acerca del fenómeno del que la teoría da cuenta; este otro vocabulario estará accesible y entendido antes de la introducción de la teoría, y su uso estará guiado, al menos inicialmente, por principios que son independientes de la teoría. Refirámonos a él como el vocabulario preteórico o antecedente V_a relativo a la teoría en cuestión. "Un fenómeno que ha sido examinado y del cual una teoría da cuenta, ha sido concebido a veces como descrito, o por lo menos describible, por medio de un vocabulario observacional, esto es, por un conjunto de términos que representan individuos particulares o atributos generales los cuales bajo condiciones convenientes son accesibles a la "observación directa" por observadores humanos. Sin embargo, se ha encontrado que esta concepción es inadecuada en varios aspectos importantes.

La distinción que he sugerido entre vocabulario teórico y vocabulario antecedente no descansa en la anterior suposición. Los términos del vocabulario antecedente

no necesitan y no deberán ser concebidos como observacionales en el estrecho sentido que acaba de ser esbozado, ya que el vocabulario antecedente de una teoría dada contendrá generalmente términos que fueron introducidos originalmente en el contexto de una teoría anterior y los cuales no son observacionales en un sentido intuitivo estrecho. (Hempel, 1970)

Las teorías proponen nuevos conceptos para explicar el comportamiento de las entidades que caerían bajo conceptos disponibles con anterioridad. De esta manera, en la genética clásica se propuso el nuevo concepto de *gen* para explicar lo que ocurría con la herencia de los *rasgos*. El concepto de rasgo y también el de *herencia* existían previamente a la genética clásica. Hempel llamaba a los términos que expresan conceptos propuestos por una teoría *T*: “términos teóricos de *T*” y a los términos que expresan conceptos disponibles con anterioridad a *T*: “términos preteóricos o antecedentes a *T*”. Se notará que, a diferencia de la propuesta clásica, la distinción es relativa a una teoría particular. El concepto de gen clásico es teórico en la genética clásica, pero podría ser preteórico para teorías más nuevas.

Esta distinción es interesante, pues además de permitir elucidar estas diferencias intuitivas entre los conceptos de una teoría, salvaguarda la independencia de la base empírica que se había visto complicada por los críticos de la carga teórica de la observación. Si, efectivamente, la base empírica de una teoría está cargada teóricamente por esa misma teoría, existe el riesgo de que la teoría en cuestión se autojustifique. El problema de la autojustificación, también, puede señalarse con respecto a la concepción kuhniana de paradigma. El hecho de que los paradigmas se autojustifiquen constituye uno de los sentidos en los que Kuhn sostiene que paradigmas diferentes pueden ser inconmensurables. Lo que señala correctamente Hempel es que, si bien es cierto que los conceptos con los que se describe la base empírica están cargados de teoría, no necesariamente lo están de la misma teoría que se está contrastando. La descripción que se hace del comportamiento de las

entidades que se pretenden explicar con cierta teoría se halla, por decirlo de algún modo, cargada de teoría de “otras” teorías. La “base empírica” en cuestión no necesariamente es observacional, ni objetiva, pero al menos, es independiente de la teoría considerada. El problema de la autojustificación se encuentra parcialmente solucionado.

Esta nueva distinción entre conceptos propuestos por una teoría y conceptos disponibles con anterioridad, tiene una consecuencia sumamente interesante, que el mismo Hempel señala. Consideremos, otra vez, la ley fundamental de la mecánica clásica de Newton: $F = m.a$. Si aplicamos la distinción, no quedan dudas de que el concepto de *fuerza* fue propuesto por su teoría, el concepto de masa podría ser discutible ya que podría pensarse que aparece en teorías anteriores como la mecánica del choque, sin quedar duda que el concepto de aceleración se encontraba disponible con anterioridad a tal teoría. Era posible medir aceleraciones antes de la existencia de dicha teoría. Sin embargo, la ley fundamental de la teoría científica que, aunque refutada, es tomada como ejemplo de teoría científica genuina, es lo que en la Concepción clásica se caracteriza como un “enunciado mixto”, “puente” o como una “regla de correspondencia”: *un enunciado que tiene los dos tipos de conceptos, teóricos y no teóricos*. Este, tal vez, sea el problema más fuerte de la Concepción heredada que señala Hempel: su concepción de ley fundamental y que la forma en que adquiere semántica empírica a través de leyes de correspondencia es inadecuada para reconstruir teorías científicas reales.

La distinción hempeliana va en la dirección correcta, pero tiene un problema vital. Para saber si un concepto está disponible con anterioridad o no, es necesario tener alguna concepción de sinonimia entre conceptos. Por ejemplo, como se adelantó antes, el término “masa” se encuentra tanto en la mecánica clásica como en la relativista. Por esta

razón, ¿el concepto de masa es preteórico en la mecánica relativista? No necesariamente, dado que en muchos casos un mismo término tiene varios significados. Pero entonces, para aplicar la distinción historiográfica de Hempel, son necesarias nociones semánticas de las que este carece. La distinción, como veremos, es superada por una, que en la misma dirección, soluciona este problema, en el marco del Estructuralismo metateórico.

ACTIVIDAD 11

Con las críticas de Popper, de Hanson y de Kuhn, entre otros, se comenzó a descreer de la distinción teórico/observacional. El problema es que la distinción poseía una función importante en el enfoque clásico, que tenía que ver con salvaguardar la independencia de la base empírica con la que las teorías científicas se contrastan. Si el tribunal de la base empírica no es independiente, entonces, la contrastación tiene la forma de una autojustificación.

Algunos autores comenzaron a sospechar que el problema de la distinción teórico/observacional mezcla dos distinciones diferentes; teórico y no teórico, y observacional y no observacional. La clave para solucionar el problema se encontraría, en este caso, en dar una buena elucidación de la primera de las distinciones, sin apelar a la distinción observable/no observable, que se había mostrado problemática.

1. En Sobre la “concepción estándar” de las teorías, Hempel abandona la concepción tradicional de teoría científica mostrando nuevos caminos por los que se debería trabajar para elaborar nuevos enfoques al respecto. Considerando lo visto hasta aquí, respondan las siguientes preguntas:

- a. ¿Cuáles son las diferencias y las semejanzas entre la distinción propuesta por Hempel y la clásica?
- b. ¿En qué sentido se puede afirmar que la distinción teórico/observacional es absoluta, mientras que la nueva distinción planteada por Hempel no lo es?

2. Consideren el ejemplo de teoría según la Concepción estándar presentado en el apartado 2 de este capítulo. ¿En qué sentido se podría afirmar que el concepto de célula es teórico en la teoría celular, pero tejido es parte del vocabulario antecedente o disponible con anterioridad?

3. Consideren si los siguientes conceptos son teóricos en el copernicanismo o no, y justifiquen:

- a. Satélite
- b. Retrogradación
- c. Planeta
- d. Esfera de las estrellas fijas

6. Síntesis desde el Estructuralismo metateórico

El Estructuralismo metateórico surge como un intento de continuar el ideal reestructurativo del Empirismo lógico pero sintetizando varios de los resultados de los estudios realizados en cuanto a la estructura y a la dinámica de las teorías científicas. Si bien podrían establecerse relaciones con las corrientes que llevan el nombre de “Estructuralismo” en antropología o en psicología, en este apartado no nos referimos a ellas.

Por supuesto, la filosofía de la ciencia actual es extremadamente heterogénea y no hay unanimidad con respecto a casi ninguna cuestión. La opción de exponer en estas páginas al Estructuralismo entre todos los enfoques disponibles tiene que ver con su carácter de síntesis de las cuestiones que hemos venido desarrollando que, como veremos, toma características de todos los autores que ya hemos presentado.

A diferencia de los filósofos clásicos que casi no lo hicieron, los estructuralistas han reconstruido muchas teorías de las más diversas áreas de la ciencia. Al hacer esto, han aprendido que las teorías son más complejas y son diferentes al modo en que eran consideradas por los clásicos (como Kuhn, también, lo había notado). Para dar cuenta de las teorías y sus complejidades, los estructuralistas han ido desarrollando y continúan, un sistema conceptual elaborado y fructífero que es lo que veremos de manera general e informal en este trabajo.

No podremos ver en funcionamiento el enfoque porque requeriría acceder al lenguaje formal presupuesto en el Estructuralismo, tema que excede los límites de este texto. La idea es, entonces, ver los conceptos

generales de manera informal y las modificaciones introducidas a las concepciones anteriores.

6.1. Distinción T-teórico/T-no teórico

Según Hempel, la distinción teórico/observacional clásica confunde dos distinciones diferentes: la distinción teórico/no teórico y la distinción observacional/no observacional. Al igual que este, los estructuralistas consideran la distinción teórico/no teórico y dejan de lado la de observacional/no observacional. Además, como la distinción hempeliana y a diferencia de la clásica, esta distinción no es absoluta, sino relativa a una teoría. Lo que puede funcionar como teórico en una teoría, puede funcionar como no teórico en otra. Pero, la forma a través de la cual se establece la distinción es diferente. No tiene que ver con ningún tipo de estudio historiográfico de qué teoría propuso qué concepto. La distinción fue propuesta en un texto que se considera fundacional del Estructuralismo metateórico, escrito en 1971 por Joseph Sneed (n.1938).

Presentaremos esta distinción apelando otra vez al segundo principio de la mecánica clásica: $F = m.a$.

Recuerden que este principio permite explicar ciertos movimientos de muchos cuerpos. La idea es que los cuerpos se aceleran de acuerdo con la fuerza que se les aplica, dependiendo de su *masa*. Al aplicar este principio se puede dar cuenta de los movimientos de los planetas, de los péndulos, de la forma en que caen los cuerpos en caída libre, del movimiento de cuerpos que chocan, etc.

¿Cuáles son términos teóricos y cuáles no teóricos en la mecánica clásica? De los tres conceptos que se incluyen en el segundo principio de manera intuitiva, se puede decir que los conceptos de *masa* y de

fuerza permiten explicar los movimientos de los cuerpos, que aparecen conceptualizados a través de aceleraciones en esta teoría. El criterio que proponen los estructuralistas para determinar esto con mayor claridad es el que describiremos a continuación. Los *términos no teóricos* en una teoría son los que pueden ser determinados o aplicados en prescindencia de esa teoría. En este caso, la aceleración de un cuerpo puede ser medida sin utilizar la ley fundamental, el segundo principio. Pero, ¿cómo determinamos cuál es la fuerza que actúa sobre un cuerpo, por ejemplo, la fuerza de gravedad con la que la Tierra afecta los cuerpos en caída libre? Para esto debemos apelar al principio. Podemos, por ejemplo, tomar un cuerpo y, a partir de las masas del cuerpo y de la Tierra, determinar cuánto se acelera en caída libre. Es decir, siempre es necesario utilizar la fórmula del segundo principio. ¿Cómo determinamos la masa de un cuerpo? (recuerden que lo que pesa la balanza es el peso y no la masa, al pesar un mismo objeto una misma balanza, en la Tierra y en la Luna da resultados diferentes, pero la masa del objeto sigue siendo la misma). Otra vez, debemos aplicar al cuerpo alguna fuerza determinada y ver cuánto se acelera. Esto significa que, para poder aplicar fuerza y masa, es necesario suponer la mecánica clásica, mientras que para aplicar el concepto de aceleración, no.

Esto brinda una caracterización independiente de la de observable/no observable, evitando todos los problemas que trae, y tiene un criterio riguroso de aplicación. Además, este ha sido aplicado exitosamente a muchas teorías de todas las disciplinas.

6.2. Leyes fundamentales

En cuanto al señalamiento de Hempel de que las leyes fundamentales suelen tener tanto conceptos T-teóricos como T-no teóricos, los estructuralistas han notado que esto es una característica de todas las leyes fundamentales.

De esta manera, la forma de la ley fundamental de la genética, que normalmente no se presenta de manera explícita en los libros de texto de biología, tendría más o menos la siguiente forma:

“Existen genes que se heredan de tal y tal forma que explican la forma en que se distribuyen los rasgos”.

Esto es, obviamente, un esbozo que simplemente refleja la presencia de los dos tipos de conceptos. El concepto de rasgo, que puede ser determinado independientemente de la genética clásica (podemos determinar si un conejo es blanco o no independientemente de la genética) y, por lo tanto, es un concepto no teórico en la genética, y el de gen, que solo podemos determinar utilizando la genética clásica, y, por lo tanto, es teórico para la genética clásica.

Las leyes fundamentales, entonces, tienen la característica de que en ellas aparecen los conceptos principales de la teoría y que, además, algunos de ellos serán teóricos y otros no.

6.3. Campo de aplicación

Lo anterior conlleva a que la forma en que se relacionan las teorías con el mundo sea diferente a la concebida por los clásicos. Pues según ellos, las teorías se encontraban constituidas por un sistema axiomático teórico que se relacionaba con el mundo a través de reglas de correspondencia. Si las leyes fundamentales ya tienen esta característica de enunciados mixtos, por tener términos teóricos y no teóricos, la forma en que se relacionan las teorías con el mundo debe ser diferente. Entonces, ¿cómo adquiere una teoría semántica empírica, si no es a través de leyes de correspondencia?

La respuesta de los estructuralistas es similar a, y está basada en, la propuesta kuhniana. Las teorías tienen un campo de aplicación.

Por ejemplo, la teoría de la selección natural se aplica a la forma en que los organismos vivos evolucionan adaptativamente. Dentro del campo de aplicación, puede distinguirse entre un campo de aplicaciones pretendidas, aquellos lugares del mundo en donde la teoría se pretende aplicar, y un campo de aplicaciones exitosas, aquellos lugares en donde la teoría se ha aplicado con éxito. Así, son parte del campo de aplicación exitoso de la mecánica clásica, por ejemplo, la forma en que se mueven los péndulos y la forma en que se mueven casi todos los planetas (pues tuvieron problemas con Mercurio). Pero el campo de aplicación pretendido normalmente, sobre todo en los orígenes de la teoría, es mucho más amplio que el de aplicaciones exitosas. Por ejemplo, se pensaba que la mecánica clásica iba a explicar el comportamiento de los fotones (las partículas de las que está formada la luz), pero esta idea con el tiempo se abandonó. Es decir, el movimiento de los fotones estaba en el campo de aplicaciones pretendidas de la mecánica clásica, pero nunca pasó al campo de aplicaciones exitosas, y a la larga, se eliminó del campo de aplicaciones pretendidas.

¿Cómo saben los científicos cuál es el campo de aplicaciones pretendidas de una teoría, si no hay reglas de correspondencia que lo determinen de manera clara? Bueno, la respuesta de los estructuralistas (basada en la idea de *ejemplar* de Kuhn) involucra a las *aplicaciones ejemplares*. La forma en que se aprende el campo de aplicación de la teoría, y, por lo tanto, la forma en que la teoría adquiere significado empírico, es a través de los casos de aplicación de la teoría. El examen de aplicaciones exitosas de una teoría permite entender de qué habla la teoría. Esto pertenece al campo de la pragmática, es decir, al uso que se hace de la teoría. El campo de aplicación de una teoría no se conoce de antemano, esto es algo que surge a partir de la investigación empírica (Darwin no estaba seguro de la extensión del campo de aplicación de la teoría

de la selección natural; Mendel no conocía la extensión del campo de aplicación de la genética que proponía). El campo de aplicaciones pretendidas es borroso, es decir, no tiene límites fijos, y puede ir cambiando con el tiempo (por ejemplo, ahora, la selección natural tiene como ámbito de aplicaciones pretendidas a la evolución de los virus, que ni siquiera eran conocidos en la época de Darwin).

6.4. Leyes especiales

Otra diferencia fundamental con el enfoque clásico, producto del examen de teorías científicas, tiene que ver con la relación entre la ley fundamental y las leyes especiales. También podemos notar aquí una influencia kuhniiana. Las leyes fundamentales no se aplican directamente al mundo. De hecho, las leyes fundamentales casi no hacen ninguna afirmación empírica que permita contrastarlas directamente. Piensen en el segundo principio de la mecánica clásica que hemos venido utilizando como ejemplo. Si tuviéramos que parafrasearlo en lenguaje natural, tendríamos que decir algo así como: existen fuerzas que provocan aceleraciones en las partículas de acuerdo con su masa.

Noten que no se afirma ni qué fuerzas, ni cuántas, ni el modo en que actúan. El principio solo afirma que para cualquier aceleración de un cuerpo deben actuar sobre él, fuerzas. Pero no se establece nada con respecto a esas fuerzas. Esta, si bien es una afirmación acerca del mundo, no es una afirmación por sí misma falsable. Pues parece que podemos postular fuerzas a nuestro antojo de manera que el principio se cumpla.

Para aplicar este principio, es necesario, por lo tanto, encontrar leyes especiales que incrementen su contenido empírico, que digan más acerca del mundo. Así, por ejemplo, en la ley de gravitación de los planetas, una de las leyes especiales de la mecánica clásica, se establece que la fuerza

en juego es la de gravedad y esta actúa sobre las masas de los planetas de cierto modo. En la ley de los péndulos, se establece que las fuerzas en juego son: la de gravedad, la del rozamiento del aire y el objeto que cuelga, la del rozamiento del clavo con el hilo, etc. Estas leyes especiales, que guardan una forma similar siempre con la ley fundamental, sí hacen afirmaciones más ricas acerca del mundo, pues ellas establecen los tipos de fuerzas en juego y la proporción que hay que tomar en cuenta con las masas y las aceleraciones. Las leyes fundamentales, entonces, solo se aplican a través de leyes especiales. La función de las leyes fundamentales es servir de guía para la construcción de leyes especiales que permitan que estas se apliquen en nuevos sectores del mundo.

La ley fundamental y las leyes especiales forman una red, que es llamada por los estructuralistas “red teórica”, que elucida el sentido más habitual de teoría científica (cuando se sostiene que la mecánica de Newton, la teoría de la selección natural o la genética clásica, son teorías).

Hay una gran diferencia entre este punto de vista y el enfoque clásico. Recuerden que la idea clásica de cómo se contrastaba una teoría consistía en la deducción a partir de leyes fundamentales puras y mixtas de leyes derivadas hasta la obtención de consecuencias observacionales. Esto, por supuesto, cuando se utilizan hipótesis auxiliares. Los estructuralistas, como anteriormente lo había hecho Kuhn, han notado que esta descripción no es adecuada. Pues las leyes especiales no se deducen de la ley fundamental. En las leyes especiales, se precisan ciertos conceptos que en la ley fundamental no estaban especificados. En el ejemplo que veíamos, en la ley fundamental se dice “existen fuerzas...” y en la especial “existen tales y tales fuerzas...”. Conceptos que aparecen sin detallar en la ley fundamental, aparecen especificados en las leyes especiales. Pero esto no es una deducción, pues la deducción, como veíamos en el capítulo II de esta publicación, no es ampliativa, no agrega información. La ley fundamental no

permite deducir leyes especiales, sino que sirve de guía para encontrar leyes especiales de estructura similar a ella. Esto tiene una consecuencia importante. Si no se cumple una consecuencia observacional, se refuta la conjunción de todo lo utilizado para deducirla. En este caso, como las leyes especiales no se deducen de la ley fundamental, las leyes fundamentales no son refutables, pues de ellas por sí mismas no se deducen consecuencias observacionales.

Por supuesto, puede ocurrir que una ley fundamental pierda todas sus aplicaciones. Se podría considerar a esta ley como refutada, pero no en el sentido clásico en el que una ley está refutada cuando no se cumple una de las consecuencias observacionales que se deducen de ella.

6.5. Validez del análisis clásico de la contrastación

En el capítulo III, presentamos un extenso análisis de la contrastación. Luego de las críticas de la teoriedad y de las propuestas kuhnianas, hempelianas y estructuralistas, podemos preguntarnos cuál es la vigencia de lo visto. Hay varios sentidos en los que el análisis debiera complicarse, pero aquí nos importa señalar solo dos. Por una parte, al retomar lo ya dicho, es importante resaltar que la contrastación de teorías no es equivalente a la de las hipótesis. Las teorías, como veíamos, tanto para Kuhn como para los estructuralistas, no son refutables en el mismo sentido en el que las hipótesis lo son. De esta manera, lo que contrastaríamos, en caso de que una teoría se encuentre en juego, es que tal teoría se aplica en tal fenómeno “empírico” de cierto modo. Por ejemplo, contrastaríamos la hipótesis “El sistema Tierra/Luna es un caso de la mecánica clásica a través de ciertas leyes especiales –en este caso, la de la gravedad y la de la inercia–, tomando en cuenta ciertas masas y ciertas fuerzas”. Pero un caso negativo de tal contrastación no refuta la mecánica clásica. Refuta, tal vez, que la mecánica clásica se aplique a este caso de esta forma particular (todavía puede encontrarse un nuevo modo de aplicarla). Recuerden la

idea kuhniana de lo que se pone en juego en la resolución en rompecabezas es la astucia del científico pero no el paradigma. También, puede ocurrir que se tome la decisión de que esa deje de ser una aplicación pretendida de la mecánica clásica (como pasó en el caso de los fotones). Otro ejemplo, si decimos: “Los movimientos de Marte se explican con la teoría ptolemaica, utilizando un epiciclo de tal tamaño y un deferente de tal tamaño que giran a tal velocidad”, y al extraer consecuencias observacionales estas resultan falsas; lo que se refuta es esa hipótesis de cómo se aplica (en conjunción con las hipótesis presupuestas), pero no la teoría ptolemaica. Puede encontrarse otra solución al movimiento de Marte en esa teoría. Los estructuralistas llaman “aserción empírica” a la hipótesis de que cierta teoría se aplica a cierto caso de cierto modo. Lo que se contrasta de la manera vista en el capítulo III, es esta aserción empírica.

El segundo sentido en que el análisis de la contrastación debe sofisticarse es que tal como fue presentada la contrastación, lo que debe deducirse de la hipótesis es una consecuencia observacional. Y estas se presentaban como enunciados singulares y observacionales. Es decir, este procedimiento descansa sobre la distinción teórico/observacional. ¿Qué ocurre si uno reemplaza esta distinción por la de la T-teoricidad estructuralista? En ese caso, deberemos exigir que las consecuencias observacionales sean singulares y que todos sus términos no lógico-matemáticos, sean no teóricos con respecto a la hipótesis a contrastar. En definitiva, al carecer de una base empírica absoluta e indubitable, lo que hay que salvaguardar es la independencia de la aceptación o no de la consecuencia observacional, y esto es asequible en este marco.

Ejemplo de reconstrucción estructuralista informal y esbozada

La Teoría de la selección natural de Darwin⁹

Como es bien sabido, lo que Darwin quiere explicar con la Teoría de la selección natural (en adelante, TSN), es cierta adecuación o ajuste de los organismos al medio ambiente.

⁹ Basado en Ginnobili (2010).

Por ejemplo:

La jirafa, con su gran estatura, sus muy largo cuello, patas delanteras, cabeza y lengua, tiene su estructura bellamente adaptada para comer en las ramas más altas de los árboles. Puede por eso obtener comida fuera del alcance de otros ungulados que habitan el mismo lugar; y esto debe ser una gran ventaja durante períodos de escasez.

Darwin, Charles (1872), *El origen de las especies* (6ª ed., p.178).

La forma en que Darwin explica la fijación de este rasgo en la población de jirafas es la siguiente:

En la naturaleza, en el origen de la jirafa, los individuos que comiesen más alto y que pudiesen, durante los períodos de escasez, alcanzar aunque sea una pulgada o dos por sobre los otros, serían frecuentemente preservados [...]. El que los individuos de la misma especie muchas veces difieren un poco en la longitud relativa de todas sus partes, puede comprobarse en muchas obras de historia natural en las que se dan medidas cuidadosas. Estas pequeñas diferencias en las proporciones, debidas a las leyes de crecimiento o variación, no tienen la menor importancia ni utilidad en la mayor parte de las especies. Pero en el origen de la jirafa debe haber sido diferente, considerando sus probables hábitos de vida; pues aquellos individuos que tuviesen alguna parte o varias partes de su cuerpo un poco más alargadas de lo corriente, en general habrán sobrevivido. Se habrán cruzado y dejado descendencia que habrán heredado las mismas peculiaridades corpóreas, o la tendencia a variar de nuevo en la misma manera, mientras que los individuos menos favorecidos en los mismos aspectos, habrán sido más propensos a perecer. (Darwin, 1872, p.178)

Si consideramos, con los estructuralistas, que la ley fundamental de TSN es aquel enunciado en el que aparecen los conceptos fundamentales de esta teoría relacionados, podemos extraer una aplicación de TSN a partir de la explicación citada:

Las jirafas con cuello, patas delanteras, cabeza y lengua de mayor longitud son más efectivas al alimentarse de las ramas más altas de los árboles, mejorando su supervivencia y mejorando, en consecuencia, su éxito reproductivo diferencial. (Darwin, 1872, p.178)

Por abstracción de este enunciado, nos vamos acercando a lo que consideramos que es la ley fundamental de TSN:

Los individuos con rasgos que cumplen con mayor efectividad cierta función, mejoran su supervivencia mejorando su éxito en la reproducción diferencial.

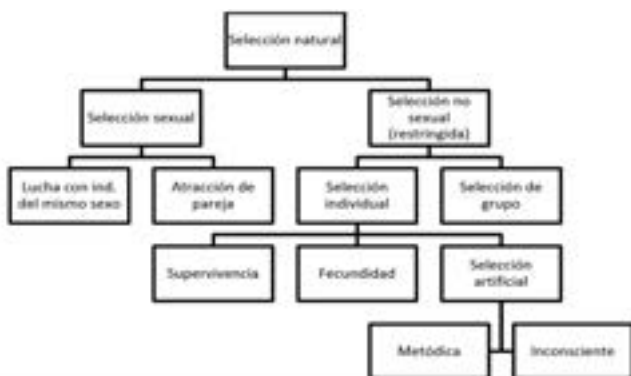
La ley fundamental de TSN tendría al menos tres componentes:

- El rasgo que cumple de manera más adecuada una función.
- El éxito reproductivo diferencial, que tiene que ver con alguna medida de la cantidad de

descendencia fértil dejada por los organismos.

- La conexión del rasgo adecuado y el éxito reproductivo, que llamaremos “aptitud”. En este caso se debe a una mejora en la supervivencia, pero no siempre es así.

Se puede obtener la red teórica de TSN a partir de las diferentes especificaciones del concepto de aptitud. Así, si se especifica la aptitud como capacidad de atraer parejas, entonces con la selección natural es posible explicar tanto el origen de los espolones de los gallos, utilizados para luchar contra otros gallos por las hembras, como el de la cola del pavo real, con la que los pavos atraen a las hembras (esta versión de la selección natural es conocida normalmente como “selección sexual”). Si se lo especifica como capacidad de fecundar, entonces se puede aplicar la selección natural al color con que las flores atraen a los insectos, etc. Así quedaría armada la red teórica de la Teoría de la selección natural:



Red teórica de la teoría de la selección natural darwiniana. En los textos de Darwin pueden encontrarse más especializaciones, estas serían solo algunas.

ACTIVIDAD 12

Hemos visto la posición del Estructuralismo metateórico. Por supuesto, este es uno de los muchos enfoques que está vigente en la filosofía de la ciencia pero resulta interesante porque conserva puntos diferentes de todas las perspectivas que estuvimos viendo en este documento: los objetivos reconstruccionistas del Empirismo lógico, muchas de las elaboraciones de Kuhn y la distinción de T-teoricidad puede ser considerada una elaboración de la propuesta por Hempel (si bien Sneed no conocía el texto de Hempel al realizar su propuesta). De ahí que resulte interesante repasarlo aunque sea breve y esbozadamente en este trabajo.

Respondan las siguientes preguntas:

a. ¿Qué hereda el Estructuralismo de Kuhn?

- b. ¿En qué consiste la distinción en base a la T-teoricidad?
- c. ¿Qué diferencias hay entre esta distinción estructuralista, la clásica y la hempeliana?

ACTIVIDAD 13

Regresemos al texto presentado en la Actividad 7. Existe otra ley propuesta por Lamarck que no se expone en el texto en análisis. Según Lamarck, para explicar la evolución de los organismos vivos de los más simples a los más complejos, no alcanzan las dos leyes propuestas, sino que es necesario postular en la evolución una tendencia constante a la complejización. Tenemos entonces un dato a explicar que es que los organismos vivos a lo largo de su historia evolutiva van cambiando los rasgos y adquiriendo nuevas partes y mayor tamaño y, para explicar esto, se postula una “tendencia hacia la complejidad”.

Consideren los términos “rasgo” y “tendencia hacia la complejidad” en este contexto, y tomando en cuenta que el rol de ambos términos en la teoría es diferente:

- a. Determinen, según la concepción clásica, si son términos teóricos u observacionales.
- b. Determinen, según la concepción hempeliana, si son términos propuestos por la teoría o términos disponibles con anterioridad.
- c. Determinen, según la concepción estructuralista, si son términos T-teóricos o T-no teóricos.

ACTIVIDAD 14

Retomemos, ahora, el texto presentado en la Actividad 8. Respondan las consignas:

- a. ¿Cuáles son los conceptos fundamentales del preformacionismo? No tomen en cuenta las diferencias internas al preformacionismo.
- b. Reconstruyan informalmente la ley fundamental del preformacionismo. Recuerden que en las leyes fundamentales deben aparecer relacionados todos los conceptos involucrados.
- c. El concepto de “homúnculo” ¿es teórico o no teórico (según la distinción estructuralista) en el preformacionismo?
- d. Señalen algún concepto no teórico para el preformacionismo en la ley tal como la reconstruyeron.

7. ¿Existe un único método en la ciencia?

Hasta el momento, hemos analizado la forma de las leyes y las teorías científicas, el modo en que adquieren significado y cómo

se contrastan con la experiencia. Explicar un hecho, en este sentido, consiste en subsumirlo a leyes generales o probabilísticas. No se puede afirmar sencillamente, sin embargo, que este sea el objetivo de todos los científicos o de todas las disciplinas científicas, o que este sea el único método a lo largo de toda la ciencia. Con respecto a este tema, existió una polémica bastante fuerte en el siglo XIX en relación con la unidad de método de las ciencias fácticas. Así, algunos autores, como el pensador francés Auguste Comte (1798-1857), consideraban que las ciencias sociales debían seguir el mismo método de experimentación y subsunción a leyes universales que tanto éxito había tenido en lo que respecta a las ciencias naturales, mientras que otros autores, como el filósofo alemán Wilhelm Dilthey (1833-1911), consideraban que las ciencias sociales, por tener un objeto distinto, debían tener un método diferente. Esta discusión perduró ya iniciado el siglo XX y todavía hoy sigue teniendo repercusiones.

Suelen presentarse, como diferencias entre ciencias sociales y naturales, tres distinciones relacionadas entre sí:

1. *Nomotéticas e ideográficas*: esta es una clasificación entre tipos de ciencias establecida por el filósofo alemán neokantiano Wilhelm Windelband (1848-1915), entre ciencias que buscan leyes y que, además, buscan comportamientos universales en objetos del mismo tipo, las nomotéticas, y ciencias que se centran en lo particular, irrepetible y biográfico, las ideográficas.
2. *Explicar y comprender*: los objetos de las ciencias sociales tendrían una subjetividad interna que el investigador debe comprender, de la que carecerían los objetos de la ciencia natural.
3. *Causa y razón*: frente al intento de las ciencias naturales de dar con las causas de los eventos, la intención sería dar con las razones, es decir, consideraciones del pensamiento que pueden llevar a ciertas acciones.

Si bien estas distinciones son interesantes para distinguir entre diversos objetivos y métodos entre las diferentes disciplinas, es necesario aclarar que no es adecuado pensar que permiten diferenciar los métodos de las ciencias sociales y los de las naturales. Es posible, por ejemplo, encontrar explicaciones históricas (que no necesariamente apelen a leyes) en biología, como en la descripción del curso evolutivo (Gould, 1999), y, por supuesto, es posible hallar explicaciones que apelen a leyes en diversas partes de las ciencias sociales (Perot, 2010).

7.1. Explicación vs. comprensión

Como hemos señalado, algunos han sostenido que las ciencias sociales tienen la característica peculiar de tratar con la subjetividad humana, y esta puede ser, “comprendida”. Insistimos, esto no implica ni que no haya áreas de las ciencias sociales que explican a través de leyes y de teorías, ni que no haya estudios comprensivistas por fuera de las ciencias sociales.¹⁰ Independientemente de que no sea adecuado considerar que estas diferentes tareas permiten distinguir entre los métodos de las ciencias sociales y de las naturales, lo cierto es que existen científicos que frente a ciertas conductas se proponen comprender sus motivaciones reales y subjetivas y no intentan explicarlas subsumiéndolas a leyes. Comparemos dos fragmentos de estudios sociales distintos. El primero es del libro *Vacas, cerdos, guerras y brujas* del antropólogo estadounidense Marvin Harris (1927-2001):

La madre vaca

Siempre que se discute acerca de la influencia de los factores prácticos y mundanos en los estilos de vida, estoy seguro de que alguien dirá: «¿Pero, qué opina de todas esas vacas que los campesinos hambrientos de la India rehúsan comer?» La imagen de un agricultor harapiento que se muere de hambre junto a una gran vaca gorda transmite un tranquilizador sentido de misterio a los observadores occidentales.

¹⁰ Algunos estudiosos del Comportamiento de los primates piensan que cierta comprensión es necesaria (de Waal, 2002).

En innumerables alusiones eruditas y populares, confirma nuestra convicción más profunda sobre cómo la gente con mentalidad oriental inescrutable debe actuar. Es alentador saber -algo así como «siempre habrá una Inglaterra»- que en la India los valores espirituales son más apreciados que la vida misma. Y al mismo tiempo nos produce tristeza. ¿Cómo podemos esperar comprender alguna vez a gente tan diferente de nosotros mismos? La idea de que pudiera haber una explicación práctica del amor hindú a las vacas resulta más desconcertante para los occidentales que para los propios hindúes. La vaca sagrada -¿de qué otra manera puedo expresarlo?- es una de nuestras vacas sagradas favoritas.

Los hindúes veneran a las vacas porque son el símbolo de todo lo que está vivo. Al igual que María es para los cristianos la madre de Dios, la vaca es para los hindúes la madre de la vida. Así, no hay mayor sacrilegio para un hindú que matar una vaca. Ni siquiera el homicidio tiene ese significado simbólico de profanación indecible que evoca el sacrificio de las vacas.

[...]

Nadie puede negar que el amor a las vacas moviliza a la gente para oponerse al sacrificio de las vacas y al consumo de su carne. Pero no estoy de acuerdo en que los tabúes que prohíben sacrificar y comer la carne de vaca tengan necesariamente un efecto adverso en la supervivencia y bienestar del hombre. Un agricultor que sacrifica o vende sus animales viejos o decrepitos, podría ganarse unas rupias de más o mejorar temporalmente la dieta de su familia. Pero a largo plazo, esta negativa a vender al matadero o sacrificar para su propia mesa puede tener consecuencias benéficas. Un principio establecido del análisis ecológico afirma que las comunidades de organismos no se adaptan a condiciones ordinarias sino extremas. La situación pertinente en la India es la ausencia periódica de las lluvias monzónicas. Para evaluar el significado económico de los tabúes que prohíben sacrificar vacas y comer su carne, debemos considerar lo que significan estos tabúes en el contexto de sequías y escaseces periódicas.

El tabú que prohíbe sacrificar y comer carne de vaca puede ser un producto de la selección natural al igual que el pequeño tamaño corporal y la fabulosa capacidad de recuperación de las razas cebú. En épocas de sequía y escasez, los agricultores están muy tentados a matar o vender su ganado vacuno. Los que sucumben a esta tentación firman su propia sentencia de muerte, aun cuando sobrevivan a la sequía, puesto que cuando vengan las lluvias no podrán arar sus campos. Incluso voy a ser más categórico: el sacrificio masivo del ganado vacuno bajo la presión del hambre constituye una amenaza mucho mayor al bienestar colectivo que cualquier posible error de cálculo de agricultores particulares respecto a la utilidad de sus animales

en tiempos normales. Parece probable que el sentido de sacrilegio indecible que comporta el sacrificio de vacas, esté arraigado en la contradicción intolerable entre necesidades inmediatas y condiciones de supervivencia a largo plazo. El amor a las vacas con sus símbolos y doctrinas sagrados protege al agricultor contra cálculos que sólo son «racionales» a corto plazo. A los expertos occidentales les parece que «el agricultor indio prefiere morir de hambre antes que comerse su vaca». A esta misma clase de expertos les gusta hablar de la «mentalidad oriental inescrutable» y piensan que las «masas asiáticas no aman tanto la vida». No comprenden que el agricultor preferiría comer su vaca antes que morir, pero que moriría de hambre si lo hace. (Harris, 1980, pp.15-25)

El segundo fragmento pertenece al libro *Lo sagrado y lo profano* del antropólogo rumano Mircea Eliade (1907-1986):

La sacralidad de la naturaleza y la religión cósmica

Para el hombre religioso, la Naturaleza nunca es exclusivamente «natural»: está siempre cargada de un valor religioso. Y esto tiene su explicación, puesto que el Cosmos es una creación divina: salido de las manos de Dios, el Mundo queda impregnado de sacralidad. No se trata únicamente de una sacralidad comunicada por los dioses, por ejemplo, la de un lugar o un objeto consagrado por una presencia divina. Los dioses han ido más allá: han manifestado las diferentes modalidades de lo sagrado en la propia estructura del Mundo y de los fenómenos cósmicos.

El Mundo se presenta de tal manera que, al contemplarlo, el hombre religioso descubre los múltiples modos de lo sagrado y, por consiguiente, del Ser. Ante todo, el Mundo existe, está ahí, tiene una estructura: no es un Caos, sino un Cosmos; por tanto, se impone como una creación, como una obra de los dioses. Esta obra divina conserva siempre cierta transparencia; desvela espontáneamente los múltiples aspectos de lo sagrado. El Cielo revela directamente, «naturalmente», la distancia infinita, la trascendencia del dios. La Tierra, asimismo, es «transparente»: se presenta como madre y nodriza universal. Los ritmos cósmicos ponen de manifiesto el orden, la armonía, la permanencia, la fecundidad. En su conjunto, el Cosmos es a la vez un organismo real, vivo y sagrado: descubre a la vez las modalidades del Ser y de la sacralidad. Ontofanía y hierofanía se reúnen.

En este capítulo trataremos de comprender cómo se presenta el Mundo a los ojos del hombre religioso; más exactamente, cómo la sacralidad se revela a través de las propias estructuras del Mundo. No hay que olvidar que, para el hombre religioso,

lo «sobrenatural» está indisolublemente ligado a lo «natural», que la Naturaleza expresa siempre algo que la trasciende. Como hemos dicho ya, si se venera a una piedra sagrada es porque es sagrada y no porque sea piedra; la sacralidad manifestada a través del modo de ser de la piedra es la que revela su verdadera esencia. Así no puede hablarse de «naturalismo» o de «religión natural» en el sentido dado a estas palabras en el siglo XIX, pues es la «sobrenaturaleza» la que se deja aprehender por el hombre religioso a través de los aspectos «naturales» del Mundo. (Eliade, 1992, pp.101-102)

Los enfoques de estos antropólogos no pueden ser más dispares. Harris, de herencia marxista, considera que existen razones económicas subyacentes que sustentan ciertas conductas en apariencia irracionales, por detrás del significado subjetivo que los propios actores le dan. De manera convincente, muestra que la conducta de considerar a las vacas sagradas constituye una estrategia adaptativa que podría encontrar su origen en las leyes de la selección natural o cultural. Por otro lado, la intención de Eliade es completamente distinta. Consiste en comprender la forma en que el hombre religioso sacraliza lo natural. En este libro se esfuerza “por ponerse en los zapatos” del hombre religioso y comprender la forma en que lo sagrado y lo profano juegan un papel en el modo en que participa del mundo.

Estos diferentes enfoques de los antropólogos citados, ejemplifican dos modos (no necesariamente los únicos) en que los científicos trabajan. El primero pretende “explicar” (entendiendo por esto subsumir a leyes), mientras que el segundo pretende “comprender” la mentalidad religiosa. La puja entre cuál debe ser el método de las ciencias sociales se vuelve algo pueril frente a la lectura de ambos libros. Resulta claro que el fenómeno de la conducta religiosa es mejor entendido a partir de ambos enfoques en conjunto, pues los diferentes puntos de vista reflejan aspectos distintos del mismo fenómeno complejo. No es necesario optar por uno de los dos enfoques, es posible adoptar una posición pluralista aceptando que no hay métodos privilegiados y que la riqueza de la

ciencia consiste en la pluralidad de formas de estudiar los diferentes fenómenos que constituyen al mundo.

En este apartado, desarrollaremos, aunque sea sucintamente, en qué consiste esta “comprensión” basándonos en los trabajos fundacionales de Dilthey. Es este filósofo quien introduce la palabra *Verstehen*, traducida habitualmente como “comprensión”, para referirse a la tarea de reconstruir la dimensión subjetiva de la acción humana y social. A diferencia de “explicar”, que consistiría en reducir lo estudiado a leyes generales, esta operación implicaría ponerse en lugar de los sujetos estudiados. Pero ¿qué significa “ponerse en el lugar”, por ejemplo, de algún sujeto del pasado? y ¿cómo se hace esto?

Según Dilthey, la comprensión de la subjetividad se realiza a través de sus manifestaciones visibles. A partir de la interpretación de los productos de la cultura o de la acción, es que se accede a los sentidos buscados. Lo que debe hacer el investigador es proponer hipótesis y testear su coherencia con respecto a la totalidad de las obras analizables. La capacidad de realizar hipótesis interpretativas del investigador dependerá de su imaginación y de su capacidad de acceder empáticamente a los estados internos de otros sujetos.

Surge aquí un problema que preocupaba a Dilthey: ¿cuál es la objetividad que puede tener un análisis basado en la empatía? Si la comprensión supone la recreación de un estado mental de otro en nosotros, esta capacidad de recreación, que depende de la imaginación, puede variar de persona en persona. ¿Cómo pueden valorarse y validarse estas hipótesis acerca de la subjetividad de otros sujetos? Un método es un conjunto de reglas y procedimientos pasible de control intersubjetivo. ¿Existe esto para la comprensión?

El método que Dilthey propone y elabora para la interpretación de las objetivaciones o manifestaciones de la subjetividad es la “hermenéutica”. La hermenéutica se refería hasta el momento a la interpretación de los textos. Dilthey ampliará la aplicación de esta noción a otras objetivaciones de la subjetividad.

En la discusión acerca de la interpretación de los textos, ya se había comenzado a hablar del famoso círculo hermenéutico. Este círculo consiste básicamente en el proceso por el que se interpreta un texto en el que el sentido de las partes depende del todo, pero la comprensión del todo depende de la comprensión de las partes. La comprensión de los detalles está condicionada por la comprensión del todo y viceversa.

Para poner un ejemplo algo simplista, alguien comienza a afirmar: “El banco” –nos preguntamos si estará hablando de un banco de madera o un edificio en el que se guarda plata– “fue construido por un carpintero” –seguramente se trata de un banco para sentarse de madera, pero todavía no podemos estar seguros– “y desde entonces ofrece descanso a los ancianos que visitan la plaza” –se trata de un banco de plaza de madera-. Solo podemos estar seguros del significado del término cuando tenemos la frase, pero llegamos al significado de la frase a partir del significado de los términos. Esta circularidad se da entre término y frase, pero también entre frase y capítulo, entre capítulo y obra, etc. El fracaso en este proceso se pone de manifiesto cuando quedan algunas partes que no se comprenden en absoluto a partir del sentido del todo. Esto obliga a una nueva determinación del sentido del todo que contemple a esas partes. Este proceso debe seguir hasta que no queden partes sin comprender.

El problema de Dilthey es cómo volver a este, un procedimiento objetivo y científico. Esta comprensión solo podría convertirse en un proceso técnico que permita alcanzar un grado controlable de objetividad, cuando

la manifestación de la vida esté fijada de manera que podamos volver una y otra vez sobre ella. Si nos basamos en gestos y palabras son escasas las posibilidades de alcanzar esta objetividad. Dilthey llama “interpretación” a esta comprensión técnica de las manifestaciones de la vida fijadas en forma permanente. Solo entonces es posible adquirir un cierto grado de objetividad. De ahí, la importancia de la literatura para la comprensión de la vida espiritual. La hermenéutica será aquella disciplina que nos proporcione las reglas para la interpretación haciendo que la comprensión se vuelva intersubjetiva y corregible. Pero en Dilthey la hermenéutica no se restringe a los textos escritos, sino que se aplica a otras manifestaciones permanentes, como obras de arte, etc. Estas reflexiones acerca de la comprensión fueron retomadas por muchos teóricos de las ciencias sociales posteriores, como Max Weber (alemán, 1864-1920), Hans Georg Gadamer (alemán, 1900-2002), Paul Ricoeur (francés, 1913-2005), Anthony Giddens (británico, n. 1938), etc.

Dilthey también fue el que, frente a la idea del Positivismo del siglo XIX que defendía una unidad de método (que hay que diferenciar del Positivismo del Círculo de Viena), distinguió entre ciencias del espíritu y ciencias naturales. Según Dilthey, la comprensión sería el método característico de las ciencias del espíritu, mientras que la explicación como subsunción a leyes era el método de las ciencias naturales. Insistimos en que, si bien este punto de vista del filósofo alemán se comprende como una reacción al Positivismo del siglo XIX, no es posible considerarlo actualmente correcto. Los ejemplos internos a la antropología, citados en el apartado anterior (Harris y Eliade), sirven de ejemplo de que ambos métodos son utilizados dentro de las ciencias sociales. La ciencia es sumamente compleja y los diferentes métodos que se utilizan la atraviesan transdisciplinariamente. En este documento nos hemos enfocado pormenorizadamente en el análisis de la explicación por leyes y teorías pero no porque consideremos que esto es lo único que de hecho se hace en la ciencia. Además, es necesario aclarar

que las explicaciones mediante leyes y la comprensión hermeneuta, no necesariamente son los únicos dos métodos que podemos encontrar. Si bien muchos han intentado defender la unidad de método en las ciencias, o bien en disciplinas particulares, esto no parece haberse logrado. Veremos algunas de estas cuestiones en los siguientes apartados.

7.2. Ciencia vs. pseudociencia

Es interesante que la discusión metodológica con respecto al alcance de la explicación como subsunción a leyes se haya visto reproducida en el interior de las ciencias naturales. Pues, se ha sostenido que este método no es aplicable tampoco, por ejemplo, en la biología. Detrás de esta discusión puede estar en juego, a veces, la legitimidad de la ciencia en cuestión. Desde los comienzos de la filosofía de la ciencia, ha existido una discusión en cuanto a si es posible o no enunciar un criterio de demarcación que distinga ciencias de pseudociencias (disciplinas que en realidad solo aparentan ser científicas, o simulan serlo, aunque en realidad carecen de todo rigor).

Como recordarán, los empiristas lógicos diferenciaban los discursos con significado cognoscitivo de los discursos sin significado cognoscitivo, dando particular importancia a la caracterización de los discursos que sin tener significado cognoscitivo, simulaban tenerlo: la metafísica. En este caso, la cuestión levemente diferente, y no supone necesariamente encontrar un criterio de significación cognoscitiva. El punto es establecer un criterio que nos permita señalar que ciertas supuestas teorías científicas en realidad no lo son. El de dictaminar que ciertas teorías son en realidad pseudoteorías, sería un rol de la filosofía de la ciencia fuertemente normativo (no meramente descriptivo) y, también, cuestionado por muchos.

Popper tal vez haya sido el autor que tuvo más pretensiones normativistas sobre el tema. Según él, una teoría es científica si es “falsable”. Y es falsable si es posible imaginar un enunciado básico incompatible con ella, es decir, un enunciado básico que, de ser verdadero, refutaría la teoría. Así, el enunciado “Todos los cisnes son blancos” es falsable, porque podemos imaginar el enunciado “Este cisne es violeta”. Pero si no es posible imaginar un enunciado básico incompatible con una teoría, entonces esta no es científica. Entre teorías no falsables, según Popper, encontraríamos algunas que son pseudoteorías, que no tendrían ningún valor, y otras que en realidad no serían falsables por ser teorías metafísicas, pero que cumplen un rol importante en la guía de ciertas investigaciones (Popper las llamaba “programas metafísicos”). La palabra “metafísica” para Popper, a diferencia de los filósofos del Círculo de Viena, no involucraba ninguna connotación negativa. Según Popper, serían pseudoteorías, o teorías pseudocientíficas, la astrología, el marxismo y el psicoanálisis. Pero, también llegó a considerar infalsable, aunque un programa metafísico de investigación fructífero, a la selección natural darwiniana. Por supuesto, todas estas afirmaciones han sido ampliamente discutidas y fuertemente criticadas.

El criterio de Popper presenta varios problemas. Como hemos visto al presentar las ideas de Kuhn y del Estructuralismo metateórico, las leyes, en realidad, no suelen ser refutables por la experiencia, y lo que Popper consideraba un signo de no científicidad, la irrefutabilidad, es común a todas las leyes fundamentales de las teorías más interesantes cuando se las tiene en cuenta aisladamente. No es nuestra intención tratar esta cuestión aquí, sino resaltar el espíritu normativo de ciertas disputas de la filosofía de la ciencia, que tienen pretensiones de dictaminar qué es ciencia y qué no. Porque tales pretensiones son las que a veces se ven mezcladas con las disputas acerca de método.

Tal vez, conozcan los ataques del filósofo de la ciencia argentino Mario Bunge (n. 1919) al Psicoanálisis, que es un ejemplo claro de este espíritu normativista. Pero no son solo filósofos de la ciencia los que caen en estas discusiones (repetimos, los científicos discuten todo el tiempo acerca de cuestiones filosóficas acerca de la ciencia). Existe mucha bibliografía que ataca al Psicoanálisis por cuestiones de método, escrita por científicos.

Hace unos años, Alan Sokal (n. 1955), físico de la New York University, envió un artículo titulado "Transgressing the Boundaries: Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity" (La transgresión de las fronteras: hacia una hermenéutica transformativa de la gravedad cuántica, Sokal,[1996]) a la importante revista de estudios sociales *Social Text*. El artículo era un acopio de sinsentidos en los que se mezclaba lenguaje de la física, de la psicología y de la sociología. La intención de Sokal era denunciar el estado de "charlatanería" que atribuía a ciertos estudios sociales. La revista publicó el artículo. Este hecho causó un revuelo importante. Este es un ejemplo de las aristas políticas de estas disputas de método. Sokal, en su libro *Imposturas intelectuales* (Sokal y Bricmont ,1999) deja en claro que su "ataque" no es a esa revista en particular, sino a formas que considera inadecuadas de hacer ciencia.

La discusión acerca de formas genuinas y no genuinas de hacer ciencia es complejísima y en muchos casos la realidad misma nos lleva a tener que debatirlas (por ejemplo, en los Estados Unidos durante las discusiones en juzgados en los que se pretendía enseñar el Creacionismo a la par del Darwinismo). En cualquier caso, resulta sensato afirmar que el establecimiento de un criterio de demarcación entre ciencia y pseudociencia presupone un conocimiento de cómo la ciencia, de hecho, funciona. Un riesgo que se corre en este tipo de disputas es basar tales criterios en concepciones discutibles o antiguas de la naturaleza de la ciencia (como

ocurre con el criterio de falsabilidad de Popper, que estrictamente deja fuera del terreno de la ciencia a casi toda la ciencia interesante).

El presupuesto detrás de todas estas discusiones, tanto de aquellas que versan acerca de la unidad de método en ciencias sociales y naturales, o dentro de las ciencias naturales mismas, como de los criterios de demarcación y de la falsabilidad, se encuentra el concepto de *ley científica*. A continuación, analizaremos brevemente esta cuestión.

7.3. Leyes fuera de la física

Suele considerarse que solo es posible dar una explicación científica apelando a leyes universales. Pero, ¿qué es una ley universal? Es importante señalar que no hay una manera meramente sintáctica de caracterizar a las leyes universales. Pues, existen enunciados de forma universal (“Todos los x son y”) que claramente no son leyes científicas. Estas son las llamadas “generalizaciones accidentales”, como “Todos los perros en esta casa son dálmatas” o “Todas las personas en la habitación son argentinas”. Estos, claramente, aunque son enunciados de forma universal, no son leyes científicas, pues parecen describir hechos accidentales.

El problema principal, entonces, consiste en diferenciar las generalizaciones accidentales, como “Todas las monedas que tengo en el bolsillo son de \$1”, de leyes universales estrictas como “Todos los cuerpos caen con la misma aceleración”. Hempel propuso, con este fin, que toda ley universal debe ser un enunciado universal irrestricto.

Para que un enunciado general sea irrestricto, debe cumplir dos requisitos:

1. No debe tener indicaciones acerca de ningún objeto particular, ni a ninguna región espacio-temporal determinada.

2. No debe ser equivalente a una conjunción de enunciados singulares.

Estos requisitos son bastante fuertes, puesto que existen ciertas leyes, como las de Kepler (“Los planetas giran alrededor del Sol en elipses”), que hacen referencia a objetos particulares, y que normalmente son aceptadas como leyes científicas.

Por otro lado, se asume que toda ley tiene forma general (“Todos los x son y). Pero, como vimos antes la ley fundamental de la mecánica clásica parece un enunciado mixto, es decir, con existenciales y universales.

Los intentos de caracterizar adecuadamente las leyes científicas han sido numerosos. No veremos aquí esta larga discusión. Es interesante señalar que al carecer de un buen análisis de lo que son las leyes científicas, o al menos, uno aceptado unánimemente entre la comunidad de filósofos de la ciencia, algunos autores han señalado que ciertas disciplinas carecen de ellas. Por ejemplo, en el espíritu de la propuesta hempeliana, se ha señalado que las leyes de la genética están restringidas espacio-temporalmente a la Tierra, puesto que hablan de especies de animales ubicadas en esta (no pretenden aplicarse a otras especies extraterrestres, por ejemplo). En general, estas afirmaciones son muy discutibles (Lorenzano, 1998).

El Estructuralismo metateórico, por ejemplo, señala ciertas características sintomáticas de las leyes científicas (sintomáticas porque no funcionan ni como condiciones necesarias ni suficientes, sino que solo suelen encontrarse en diferentes leyes de distintas teorías):

- en ellas se relacionan todos o casi todos los conceptos fundamentales de la teoría;
- son altamente abstractas permitiendo obtener por especialización leyes especiales;
- proponen conceptos con fines explicativos (que suelen ser T-teóricos).

Bajo esta caracterización, se han encontrado leyes científicas en todas las disciplinas de las ciencias sociales y de las naturales. Este tipo de enfoque, de todos modos, es más funcional, pues supone que una ley científica se constituye como tal si cumple cierto rol en una teoría científica. Por lo tanto, es más naturalista o descriptivo y, en consecuencia, no tiene la meta de permitir distinguir entre teorías y pseudoteorías científicas ni las pretensiones normativas de otras propuestas.

Las reflexiones de los dos últimos puntos ponen de manifiesto que el espíritu normativo que, a veces, pretende darse a la filosofía de la ciencia, como capaz de generar un tribunal que pueda detectar casos de pseudociencia, está lejos de cumplirse. La actitud del filósofo de la ciencia, en este sentido, debería ser más tolerante y pluralista. Lo mismo ocurre con los ataques que muchas veces científicos de una disciplina realizan sobre otras disciplinas, pues, en muchos casos, se juzga a otras disciplinas bajo los estándares de la disciplina propia (olvidando la incommensurabilidad existente entre diferentes enfoques).

ACTIVIDAD 15

Esta parte gira en torno a la cuestión de los alcances de lo estudiado durante la cursada. Es importante resaltar que todo lo desarrollado no debe ser considerado como un análisis del método de la ciencia, pues, la idea de que todas las disciplinas tienen un único método es sumamente discutible. A modo de ejemplo de esta cuestión, se menciona, frente a la forma de explicación por subsunción a hipótesis o teorías científicas, que es lo que estuvimos viendo a lo largo de la materia hasta el momento, el ideal de la comprensión. Si bien no es razonable afirmar, como se dice en este documento, que la comprensión es característica de las ciencias sociales, mientras que la explicación por leyes lo es de las ciencias naturales (pues las ciencias naturales a veces apelan a la comprensión, y las ciencias sociales también explican con leyes), parece claro que esta es una de las cosas que hacen los científicos para dar cuenta de ciertos fenómenos.

En *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*, Weber intenta dar cuenta del siguiente problema:

Si alguien perteneciente a la civilización moderna europea se propone indagar alguna cuestión que concierne a la historia universal, es lógico e inevitable que trate de considerar el asunto de este modo: ¿qué serie de circunstancias ha determinado que sólo sea en Occidente donde hayan surgido ciertos sorprendentes hechos culturales (ésta es, por lo menos, la impresión que nos producen con frecuencia), los cuales parecen señalar un rumbo evolutivo de validez y alcance universal? (Weber, 1979)

En esta explicación, se puede notar que hay interrelaciones complejas entre métodos explicativos y comprensivistas. La tesis de Weber es que el protestantismo es una condición de posibilidad para el capitalismo. En sus investigaciones comienza relacionando el fenómeno con hipótesis estadísticas. Consideren el siguiente fragmento:

Fragmento 1

Al disponernos a examinar las estadísticas profesionales de países en los que existen credos religiosos, sobresale con mucha frecuencia un fenómeno, motivo de vivas controversias en la prensa y la literatura católicas, así como en congresos de católicos alemanes: es la índole por excelencia protestante que se distingue en las propiedades y empresas capitalistas y, también, en las esferas superiores de las clases trabajadoras, sobre todo del alto personal de las empresas modernas, con más experiencia técnica o comercial. Dicho fenómeno se refleja en cifras de las estadísticas confesionales, allí donde las diferencias de confesión coinciden con las de nacionalidad y, por consiguiente, con el distinto nivel de desarrollo cultural (de la misma manera que en la Alemania oriental acontecía con alemanes y polacos), como, por lo regular, allí donde el progreso capitalista en el periodo de su mayor apogeo tuvo poder para organizar la población en clases sociales y profesionales, a medida que las requerían. El mundo protestante es más exitoso económicamente que el mundo católico. Puede notarse que los protestantes participan en la posesión del capital mucho más que los católicos. También sus estadísticas señalan que los protestantes acuden y estudian para profesiones de tipo industrial y mercantil en mayor proporción que los católicos, quienes prefieren en su mayoría los estudios humanistas. (Weber, 1979)

Sin embargo, la investigación no se encuentra completa para Weber hasta señalar por qué el protestantismo es más afín al capitalismo que otras religiones, por ejemplo, el catolicismo. En este caso, el autor apela a otro tipo de señalamientos.

Fragmento 2

La causa de tan disímil conducta habremos de buscarla no solo en una cierta situación histórico - política de cada confesión, sino en una determinada y personal

característica permanente. Antes que nada habría que dilucidar la problemática, investigando cuales son o fueron los elementos de las características confesionales que actuaron o actúan, en parte, en la dirección de referencia. Podríamos intentar la explicación de la antítesis, desde un punto de vista superficial y moderno, afirmando que el mayor “distanciamiento del mundo” católico, el cariz ascético peculiar de sus más altos ideales, tiene que ejercer su influjo en el espíritu de sus fieles con respecto a un despegue ante los bienes terrenales. En tal explicación podría hallarse la coincidencia con el popular esquema que sirve en la actualidad para juzgar las dos confesiones. En cuanto a los protestantes, estos se valen de dicha concepción para censurar el idealismo ascético, real o supuesto, de la vida del católico, a lo cual este responde reprobándole el espíritu materialista, que podría tomarse como resultado de la campana de instrucción laica de toda la compilación vital llevada a término por el mundo protestante. Nos valemos de la formula lograda por un escritor moderno cuya intención fue dar, precisamente, la explicación acerca de la conducta observada, opuestamente, en la vida industrial de ambas confesiones: “El católico [...], siendo el más tranquilo, el menos dotado de afán adquisitivo, tiene preferencia por una vida bien asegurada aunque los ingresos en ella sean de menos cuantía que los que pudiera redituarle una vida de incesantes peligros y exaltaciones tras los honores y las riquezas adquiridos eventualmente. Si analizamos el refrán que reza: comer bien y dormir tranquilo, vemos que el protestante es quien se decide por lo primero, en tanto que al católico le gusta más dormir tranquilo. (Weber, 1979)

Señalen en qué sentido puede considerarse al primer fragmento como explicativo y al segundo como comprensivista.

ACTIVIDAD 16

En el presente documento se hace referencia a la discusión entre Popper y Kuhn con respecto a la naturaleza de la ciencia. El desacuerdo gira en torno a dos cuestiones relacionadas. Por una parte, si bien Popper concede que pueden existir periodos de lo que Kuhn llama “ciencia normal” (aunque no considera que esto ocurra tan a menudo y en todas las disciplinas), para él estos periodos tienen una influencia negativa en la ciencia. Por otra parte, Kuhn y Popper difieren y discuten acerca de las razones por las cuales se puede considerar a ciertas actividades como pseudocientíficas. Veamos ambas cuestiones.

Lean detenidamente el comentario de Popper en relación con la ciencia normal kuhniana:

Bajo mi punto de vista el científico “normal” tal como Kuhn lo describe, es una persona acerca de la cual uno debería sentir pena. [...] Yo creo, con muchos otros, que

la enseñanza en el nivel universitario (y si es posible en niveles más bajos) debería entrenar y alentar el espíritu crítico. Al científico “normal”, tal como es descripto por Kuhn, se le ha enseñado mal. Se le ha inculcado un espíritu dogmático: es víctima del adoctrinamiento. Se le ha enseñado una técnica que puede aplicar sin preguntar la razón por qué [...]. Como consecuencia, se ha vuelto lo que podría llamarse un “científico aplicado” en contradicción con lo que yo llamaría un “científico puro”. Es, tal como lo dice Kuhn, alguien que resuelve “rompecabezas”. La elección de este término parece indicar que Kuhn intenta señalar que no son problemas fundamentales para los cuales el científico “normal” está preparado: sino más bien, problemas de rutina. [...] El éxito de un científico “normal” consiste enteramente en mostrar que la teoría gobernante puede ser aplicada satisfactoriamente para solucionar el rompecabezas en cuestión. [...]

Admito que esta clase de actitud existe; y que existe no sólo entre ingenieros, sino entre personas entrenadas como científicos. Sólo puedo decir que veo un importante peligro en esta actitud y que la posibilidad de que se vuelva normal (así como veo como un gran peligro en el incremento de la especialización, que también es un innegable hecho histórico): un peligro para la ciencia, y, también, para nuestra civilización. Y esto muestra por qué veo el énfasis en la existencia de esta clase de ciencia como importante. (Popper, 1975, pp. 52-53)

Respondan las siguientes preguntas teniendo en cuenta el fragmento y lo visto al respecto en el presente capítulo:

- a. ¿En qué acuerda Popper con Kuhn en este fragmento?
- b. ¿En qué cuestiones Kuhn estaría en desacuerdo con respecto a las afirmaciones de Popper?

ACTIVIDAD 17

En el siguiente fragmento, Kuhn compara el criterio de demarcación propuesto por Popper con el suyo propio. Curiosamente, coinciden en señalar candidatos a pseudociencia (marxismo y psicoanálisis, por ejemplo):

La línea de demarcación de Sir Karl Popper y la mía frecuentemente coinciden. La coincidencia se da, sin embargo, sólo en los resultados; el proceso de aplicación es muy diferente, y se basan en distintos aspectos de la actividad acerca de la cual la decisión –ciencia o no ciencia– se debe tomar [...].

Para evitar controversias contemporáneas irrelevantes, consideraré la astrología en lugar, digamos, del psicoanálisis. La astrología es el ejemplo más frecuentemente citado como pseudociencia por Sir Karl. Él dice: “Haciendo sus interpretaciones y profecías suficientemente vagas ellos [los astrólogos] son capaces de explicar cualquier cosa que podría funcionar como refutación de la teoría si ésta y sus

profecías fuesen más precisas”. [...]. En la historia de la astronomía durante los siglos en los que era intelectualmente respetable, existieron muchas predicciones que fallaron. Ni siquiera el astrónomo más convencido niega tales fallas. La astrología no puede ser barrida de la ciencia por la forma en las que son tratadas sus predicciones. Tampoco pueden ser barridas de la ciencia por la forma en que sus practicantes explican las fallas. Los astrólogos señalan, por ejemplo que la predicción del futuro de un individuo es una tarea inmensamente compleja, demandante del mayor cuidado y extremadamente sensible a errores menores en los datos relevantes. La configuración de las estrellas y los ocho planetas están en constante cambio; las tablas usadas para computar la configuración del nacimiento de un individuo son notoriamente imperfectas; pocos saben el instante de su nacimiento con la precisión requerida. No es sorprendente que la astrología falle. [...]. Argumentos similares son regularmente utilizados para explicar las fallas, por ejemplo, en la medicina o en la meteorología. [...]. No hay nada acientífico en la explicación de las fallas de los astrólogos.

Sin embargo, la astrología no es una ciencia. [...]. Compare la situación de un astrónomo con la del astrólogo. Si la predicción de un astrónomo falla y sus cálculos son chequeados, entonces, puede esperar corregir la situación. Tal vez los datos son los que están en falta: observaciones antiguas pueden reexaminarse, nuevas mediciones pueden hacerse[...]. O tal vez la teoría necesite un ajuste. [...]. El astrólogo, en contraste, no se enfrenta con tales rompecabezas. La ocurrencia de las fallas puede explicarse, pero las fallas particulares no dan lugar a rompecabezas de investigación, dado que ningún hombre, capacitado como esté, puede intentar revisar la tradición astrológica. Aunque la astronomía y la astrología fueron regularmente practicadas por la misma gente, incluyendo Ptolomeo, Kepler y Tycho Brae, no hubo nunca un equivalente astrológico a la resolución del rompecabezas de la tradición astronómica. Y sin rompecabezas, capaces primero de desafiar y después de avalar la ingenuidad del practicante individual, la astrología no podría volverse una ciencia incluso aunque las estrellas de hecho controlaran el destino humano.

En breve, aunque los astrólogos hacen predicciones testeables y reconocen que tales predicciones, a veces, fallan, no pueden encarar la clase de actividades que normalmente caracterizan a todas las ciencias reconocidas. (Kuhn, 1975, pp. 8-11)

Respondan las siguientes preguntas teniendo en cuenta el fragmento y lo visto al respecto en el presente capítulo:

- a. ¿En qué consiste el criterio de demarcación de Popper?
- b. ¿Qué crítica hace Kuhn a tal posición?
- c. ¿En qué consiste el criterio de demarcación propuesto por Kuhn?
- d. ¿Qué críticas se podría hacer a la propuesta de Popper desde el Estructuralismo?

e. ¿Qué diferencia hay entre el criterio de demarcación de Popper y de Kuhn, y el criterio de significación cognoscitivo del Empirismo lógico?

f. ¿Qué posición toma el autor del presente capítulo en cuestión con respecto a la capacidad de la filosofía de la ciencia de establecer un criterio de demarcación entre ciencia y pseudociencia?

Síntesis del capítulo

En el capítulo III: *Conceptos, hipótesis y contrastación*, vimos cómo se contrastan las hipótesis científicas y en el presente enfocamos en las teorías científicas y el modo en que cambian. Para discutir esta cuestión hicimos hincapié en las concepciones generales del Empirismo lógico, de Kuhn y del Estructuralismo metateórico. Estas no son las únicas posiciones al respecto, pero se han elegido como representativas de muchas otras, por su influencia e importancia. Tratamos el ideal de reconstrucción y aclaración del lenguaje científico característico del Empirismo lógico, y cómo este se relacionaba con sus objetivos políticos. En el seno del Empirismo lógico surgió la concepción estándar de las teorías científicas, en las que se piensa a las teorías como conjuntos de hipótesis teóricas puras y mixtas que guardan entre sí relaciones deductivas. En esta concepción ocupa un lugar central la distinción teórico/observacional. Tal distinción, como vimos, sufrió muchas críticas. En particular, nos detuvimos sobre las críticas de Popper y de Hanson. Las críticas de Hanson son especialmente interesantes porque influyeron fuertemente sobre el enfoque de Kuhn. La posición de Kuhn, crítica de Popper y del Empirismo lógico, ofrece un aparato conceptual para pensar la historia de la ciencia. Repasamos los puntos centrales de su libro más influyente, *La estructura de las revoluciones científicas*, donde propone un concepto más complejo que el de teoría, el de paradigma, que no solo incluye leyes, sino, además, una serie de componentes más, que permiten pensar mejor el cambio científico. Finalmente, luego de

repasar las críticas del propio Hempel a la concepción estándar de las teorías científicas, presentamos al Estructuralismo metateórico, que incluye tanto los ideales reconstructivos del Empirismo lógico como muchos de los desarrollos kuhnianos.

En el resto del capítulo, por una parte, establecimos los límites de los temas abordados hasta el momento, intentando mostrar cómo el ideal de explicación por medio de leyes o teorías no es el único perseguido en la ciencia. Nos detuvimos en la comprensión para ilustrar este punto. Por otra parte, intentamos señalar cómo las discusiones en el ámbito de la filosofía de la ciencia adquieren relevancia para cuestiones relacionadas con la política científica, con la educación científica y la comunicación de la ciencia, intentando defender una actitud más tolerante y pluralista, tanto en el ámbito científico como en el filosófico.

Para ampliar

Es muy importante leer el *Manifiesto del Círculo de Viena* (Hahn, Neurath y Carnap, 2002) para acceder a las posiciones fundamentales de los empiristas lógicos. Es también recomendable la autobiografía de Carnap (1992). En ella se cuenta la historia del Círculo de épocas posteriores, de manera amena y clara. El libro de Reisch (2009) acerca de las influencias de la política sobre el destino de las ideas y objetivos del Empirismo lógico es sumamente interesante. Para acceder a artículos del puño y letra de algunos de los empiristas lógicos, puede leerse el artículo “Sobre el carácter de los problemas filosóficos” de Carnap, cuya traducción se incluye en un libro sobre el autor (Cirera, Ibarra y Mormann, 1996, pp. 25-43). También, el texto de Neurath en el que “arremete” contra las ideas de Popper: “Pseudoracionalismo de la falsación” (1935), publicado en la revista *Redes*, acompañado de un texto de Andoni Ibarra (2002).

Sobre la influencia de la teoría sobre la observación es conveniente conocer el trabajo audiovisual preparado por César Lorenzano, que además de ser un importante filósofo de la ciencia de la Argentina, su formación original es sobre diagnóstico por imágenes (Lorenzano, 2008).

Es recomendable también, la obra central de Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas* (1971). Para ampliar sobre la posición de Kuhn, pueden acudir al libro de Ana Rosa Pérez Ransanz (1999). Lakatos y Musgrave (1975) ofrecen un buen panorama del “revuelo” armado por las ideas de Kuhn en la comunidad filosófica así como la lectura de otros autores con posiciones semejantes a la de Kuhn.

El manual más importante del Estructuralismo metateórico es *Una arquitectónica para la ciencia* (Balzer, Moulines y Sneed, 2012). Pero se trata de una obra predominantemente técnica. Para presentaciones introductorias puede recurrirse a Lorenzano (2004), Díez y Lorenzano (2002) y a Díez y Moulines (1997). Estas obras permiten ampliar todos los temas de este documento. Para una presentación más general, aunque informal, de la Teoría de la selección natural en términos estructuralistas, cuentan con el texto de Ginnobili (2010).

Bibliografía

BALZER, WOLFGANG; Moulines, Carlos U. y Sneed, Joseph D. (2012), *Una arquitectónica para la ciencia. El programa estructuralista*, Bernal, Universidad Nacional de Quilmes.

CARNAP, RUDOLF (1992), *Autobiografía intelectual*, Barcelona, Paidós.

CARNAP, RUDOLF (1950), *Logical Foundations of Probability*, Chicago, University of Chicago Press.

CIRERA, RAMÓN; Ibarra, Andoni y Mormann, Thomas (Comps.), (1996), *El programa de Carnap*, Barcelona, Ediciones del Bronce.

DE WAAL, FRANS (2002), *El simio y el aprendiz de sushi*, Barcelona, Paidós Ibérica.

DÍEZ, JOSÉ A. y Lorenzano, Pablo (Eds), (2002), *Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista: Problemas y discusiones*, Bernal (Buenos Aires), Universitata Rovira i Virgili Coordinación General de Investigación y Posgrado Universidad Nacional de Quilmes.

DÍEZ, JOSÉ A. y Moulines, Carlos U. (1997), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona, Ariel.

ELIADE, MIRCEA (1992), *Lo sagrado y lo profano*, Barcelona, Labor.

FLICHMAN, EDUARDO; Miguel, Hernán; Paruelo, Jorge y Pissinis, Guillermo (Eds.), (2004), *Las raíces y los frutos*, Buenos Aires, CCC Educando.

GINNOBILI, SANTIAGO (2010), La teoría de la selección natural darwiniana, *Theoria* 25 (nº1, pp.37-58), Universidad del País Vasco/Euskal Herriko, España.

GOULD, STEPHEN JAY (1999), *La vida maravillosa*, Barcelona, Crítica.

HAHN, HANS; Neurath, Otto y Carnap, Rudolf (2002,[1929]), La concepción científica del mundo: el Círculo de Viena, *REDES* 9 (nº18, pp.103-149), Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes, 103-149.

HANSON, NORWOOD RUSSEL (1977), *Observación y explicación: guía de la filosofía de la ciencia. Patrones de descubrimiento. Investigación de las bases conceptuales de la ciencia*, Madrid, Alianza.

HARRIS, MARVIN (1980), *Vacas, cerdos, guerras y brujas*, Madrid, Alianza.

HEMPEL, CARL G. (1970), Sobre la concepción estándar de las teorías científicas, en Roller, José Luis (Comp.), (1986), *Estructura y desarrollo de las teorías* (141-166), México, UNAM.

IBARRA, ANDONI (2002), Presentación de "Pseudorracionalismo de la falsación". La crítica de Neurath a la metodología falsacionista, *REDES* 10 (nº19, pp.85-102), Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes.

KUHN, THOMAS S. (1971), *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Fondo de Cultura Económica.

KUHN, THOMAS S. (1975), *Lógica del descubrimiento o psicología de la*

investigación, en Lakatos, Imre y Musgrave, Alan (Eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona, Grijalbo.

LAKATOS, IMRE y Musgrave, Alan (Eds.), (1975), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona, Grijalbo.

LORENZANO, CÉSAR (2008), *Experiencia y teoriedad en el diagnóstico por imágenes*, disponible en:

<http://www.youtube.com/watch?v=NqYgwjh8lWE>,

<http://www.youtube.com/watch?v=qjVzp1tDcI4>,

<http://www.youtube.com/watch?v=DE8hekHcTm4>.

[Último acceso 6 de junio de 2015].

LORENZANO, PABLO (2004), *Filosofía de la ciencia*, Bernal (Buenos Aires), Universidad Nacional de Quilmes.

LORENZANO, PABLO (1997), Hacia una nueva interpretación de la obra de Mendel, en Ahumada, J. y Morey, P. (Eds.), *Selección de trabajos de las VII Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia* (pp.220-231), Córdoba (Argentina), Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.

LORENZANO, PABLO (1998), Sobre las leyes en la biología, Episteme. Filosofía e História das Ciências, *Revista 3* (nº7, pp.261- 272).

MINHOT, LETICIA (2003), *La mirada psicoanalítica. Un análisis kuhniano del psicoanálisis de Freud*, Córdoba (Argentina), Editorial Brujas.

NEURATH, OTTO (1935), Pseudo-Rationalismus der Falsifikation, *Erkenntnis* 5:353-365 (Versión castellana de Ibarra, Andoni [2002], Pseudorracionalismo de la falsación, *REDES* 10 [nº19, pp.85-102], Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes).

PÉREZ RANSANZ, ANA ROSA (1999), *Kuhn y el cambio científico*, México, Fondo de Cultura Económica.

PEROT, M. D. C. (2010), El regreso del naturalismo metodológico: pasado y presente de una polémica aún vigente, en Pedace, Karina y Riopa, Christian (Eds.), *Cuestiones epistemológicas. Una introducción a la problemática científica*, Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján.

POPPER, KARL (1975), La ciencia normal y sus peligros, en Lakatos, Imre y Musgrave, Alan (Eds.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona, Grijalbo.

POPPER, KARL (1971), *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos.

REISCH, GEORGE A. (2009), *Cómo la guerra fría transformó la filosofía de la ciencia. Hacia las heladas laderas de la lógica*, Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes.

ROSTAND, JEAN (1994), *Introducción a la historia de la biología*, Barcelona, Planeta Agostini.

SNEED, JOSEPH D. (1971), *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht-Holland, Reidel.

SOKAL, ALAN (1996), Transgressing the Boundaries: Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity, *Social Text* (46/47, pp.217-252).

SOKAL, ALAN y Bricmont, Jean (1999), *Imposturas intelectuales*, Barcelona, Paidós.

WEBER, MAX (1979), *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*, México, Premià.

