

SERGIO F. MARTÍNEZ

De los efectos a las causas

Sobre la historia de los patrones
de explicación científica

PAIDÓS

SEMINARIO DE PROBLEMAS
CIENTÍFICOS Y FILOSÓFICOS. UNAM



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
FILOSÓFICAS, UNAM

DE LOS EFECTOS A LAS CAUSAS

DIRECCIÓN DE LA COLECCIÓN
Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM

Diseño de cubierta: Margen Rojo/Arturo Avendaño

1ª edición, 1997

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del "Copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

© de la presente edición:
Universidad Nacional Autónoma de México
Coeditan: Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM;
Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM,
Circuito Mario de la Cueva, Ciudad de la Investigación en
Humanidades, Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.;
Ediciones Paidós Ibérica, S.A.,
Mariano Cubí 92, 08021, Barcelona, y
Editorial Paidós Mexicana, S.A.,
Rubén Darío 118, 03510, col. Moderna, México, D.F.
Tels.: 579-5922, 579-5113. Fax: 590-4361

ISBN: 968-853-360-2

Derechos reservados conforme a la ley

Impreso en México - Printed in Mexico

AGRADECIMIENTOS

Este libro fue posible gracias a una Cátedra Patrimonial de Excelencia, nivel III, del CONACYT.

Agradezco a Claudia Lorena García, Godfrey Guillaumin y Edna Suárez sus comentarios a partes de una primera versión del libro. A Edna Suárez tengo que agradecerle también su ayuda en la revisión final del manuscrito y en la organización de la bibliografía.

PREFACIO	15
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	19
PRIMERA PARTE	
1. EL SURGIMIENTO DE LA CIENCIA ENTRE LOS GRIEGOS	29
§ 1. El surgimiento de la ciencia en la Grecia antigua	29
§ 2. Las tradiciones teórico-especulativas o filosóficas	30
§ 3. El problema del cambio	33
§ 4. Causalidad y explicación en Aristóteles	36
§ 5. Agregatividad y reducibilidad: el problema de la explicación del todo a partir de las partes	38
§ 6. La teoría de la explicación en Aristóteles	42
§ 7. La tradición hipocrática	44
SEGUNDA PARTE	
INTRODUCCIÓN	51
2. LA MECANIZACIÓN DEL MUNDO	53
§ 1. El mundo como máquina	53
§ 2. La matematización del mundo	56
3. LA FILOSOFÍA MATEMÁTICA DE DESCARTES, GALILEO Y NEWTON	63
§ 1. El problema de la inferencia de efectos a causas en Descartes	64
§ 2. El problema de Galileo	71
§ 3. El experimento del prisma de Newton	72
§ 4. La deducción a partir de los fenómenos de la ley de la gravedad	77
§ 5. Una comparación entre diferentes tipos de explicación	80

4. EL CONCEPTO MODERNO DE CIENCIA	83
§ 1. El concepto de ley universal en Kepler y Galileo	84
§ 2. Los conceptos de ley y explicación en Leibniz	86
§ 3. Método científico y metafísica en Newton	90
§ 4. La discusión entre Leibniz y Newton sobre el concepto de ciencia ..	94
5. EL PAPEL DE LAS LEYES EN LAS EXPLICACIONES CIENTÍFICAS: LA SÍNTESIS FILOSÓFICA	97
§ 1. El proyecto epistemológico de Locke	100
§ 2. Hume y el pensamiento probabilístico.....	103
§ 3. Probabilidad y causalidad en Hume.....	106
TERCERA PARTE	
INTRODUCCIÓN	113
6. EL PROBLEMA DE LA INDUCCIÓN Y LA EXPLICACIÓN POR CAUSAS VERDADERAS EN EL SIGLO XIX.....	115
§ 1. Los diferentes métodos inductivos	117
§ 2. Newton y el origen del concepto de <i>vera causa</i>	119
§ 3. La metodología de la <i>vera causa</i> y la extrapolación del patrón de explicación por leyes a las ciencias históricas	121
7. EL MECANISMO DE LA SELECCIÓN NATURAL COMO RECURSO EXPLICATIVO	127
§ 1. De la coexistencia pacífica a la teoría de Darwin	127
§ 2. Una explicación naturalista del origen de las especies	129
§ 3. Darwin y el concepto de <i>vera causa</i>	133
§ 4. Darwin y Laplace	135
§ 5. Darwin y la filosofía de la ciencia	139
§ 6. Un diagnóstico del problema de fondo	141
8. LA EXPLICACIÓN EN BIOLOGÍA: HISTORIA Y NARRATIVA .	145
§ 1. Contingencia e historia	145
§ 2. El principio de individuación de las entidades básicas de la teoría es histórico	147
§ 3. Las explicaciones darwinistas son narrativas.....	149
§ 4. La búsqueda de leyes y el carácter histórico de las generalizaciones en la biología evolucionista.....	153

9. LA DISEMINACIÓN DEL AZAR: EXPLICACIONES ESTADÍSTICAS Y SELECCIONISTAS	159
§ 1. Azar y explicaciones estadísticas	160
§ 2. El problema de inferir de efectos a causas en la biología evolucionista	164
§ 3. Explicaciones seleccionistas	171
§ 4. La teoría seleccionista de los anticuerpos	173
CONCLUSIÓN: EL LENTO PROCESO DE LA DOMESTICACIÓN DEL AZAR	177
BIBLIOGRAFÍA CITADA	181
ÍNDICE ANALÍTICO	185

PREFACIO

El tema de este libro es el concepto de explicación científica. Existe una amplia literatura filosófica al respecto y mi interés en esta obra no consiste en repasarla o revisarla, sino más bien en tomar una perspectiva diferente y apropiada para el tipo de libro que he querido escribir. Creo que un libro introductorio no puede ser un compendio de lo que se sabe sobre un tema, sino **que** debe ser una introducción a cierta manera de ver las cosas que permita poner en perspectiva las discusiones más especializadas y que, por lo tanto, fomente una actitud crítica ante **la** manera como la filosofía de la ciencia se practica hoy en **día**.

A lo largo de la historia de **la** ciencia, el concepto de explicación se ha desarrollado y ha sido examinado filosóficamente en dos direcciones que pueden detectarse desde la Grecia antigua: por un lado, se ha **tratado** de ver **la** teoría de la explicación desde el punto de vista de una teoría de la argumentación y, por otro, se ha visto como parte de **la** búsqueda de criterios filosóficos que nos permitan distinguir las creencias que constituyen conocimiento objetivo **del** mundo (creencias que desde la Grecia antigua se han identificado con la ciencia), de las que **sólo** reflejan la ilusoria realidad de nuestras percepciones y la falta de **claridad** de nuestros conceptos de uso cotidiano.

El enfoque del problema de la explicación que parte de una **teoría** de la argumentación es un tema **mu**y importante en la **filosofía** de la ciencia. Hoy en día esta perspectiva no sólo supone lo que hasta hace unos veinte **años** se pensaba que agotaba el tema de la argumentación—**la** estructura lógica de los argumentos—, sino que tiene que ver con los aspectos retóricos y pragmáticos de la misma. Como no es el tema de este libro, no voy a **referirme** más a esta perspectiva; sin embargo, he incluido algunas referencias importantes al respecto en la bibliografía que aparece al final de la introducción.

En este texto he partido de la convicción de que la ciencia está constituida por tradiciones de razonamiento y, en particular, por patrones de explicación que se constituyen y se desarrollan históricamente a lo largo de siglos. Es en el contexto de estas tradiciones de razonamiento donde el mundo tiene sentido **como** algo "objetivo". En otras palabras, los diferentes patrones de explicación

de la ciencia deben verse como horizontes conceptuales en los cuales se articula de la manera **más** general posible la forma en que se entiende la relación entre el mundo y nuestras capacidades cognoscitivas para entender cómo es ese mundo.

Tradicionalmente se ha hecho una distinción tajante entre los problemas de reconstrucción histórica de conceptos (tarea de historiadores) y la presentación y el examen de los problemas **filosóficos**. Creo que muchas veces esta división tajante distorsiona el problema filosófico de explicar la naturaleza del conocimiento científico. El conocimiento es un proceso histórico, y la manera como ha sido constituido históricamente no puede desligarse de la manera como se formulan las preguntas y se evalúan las respuestas. En particular, el problema de determinar lo que es una explicación científica **no** puede responderse de **manera** satisfactoria en abstracto, por medio de definiciones o caracterizaciones filosóficas generales. Es necesario, para ello, entender los diferentes contextos históricos en los cuales la pregunta (implícitamente **las** más de las veces) ha sido planteada, así como los problemas y las tradiciones de pensamiento que han contribuido a su examen. Sólo así podremos tener una idea del entorno de la pregunta y, por lo tanto, ser capaces de evaluar las discusiones filosóficas al respecto.

Este libro también pretende ser un apoyo didáctico en la enseñanza de la historia y la filosofía de la ciencia. En el espacio lingüístico de nuestra disciplina, esto requiere que los **libros** tengan cierta flexibilidad. Por ello esta obra se ha dividido en tres partes, cada una de las cuales tiene cierta autonomía y se ha escrito de manera tal que pueda leerse por separado. Las introducciones a las partes **II** y **III**, además de dar un panorama de lo que en ellas se ofrece, resumen los elementos más importantes que es necesario conocer de las partes anteriores para comprender cabalmente la lectura. De esta manera, una o más partes pueden asignarse **como** lecturas independientes en diferentes tipos de curso, según las propias necesidades del mismo.

Lo anterior, sin embargo, no significa que el libro no se haya concebido como una unidad; así, se requiere la lectura de las diferentes partes para entender el tipo de relación entre historia y **filosofía** de la ciencia que se busca ejemplificar. Idealmente el libro como un todo pretende ser un argumento implícito en favor de la necesidad de estudiar la historia de la ciencia a la par que la historia de la **filosofía**. Siempre me ha sorprendido el tipo de cursos de historia de la filosofía que suelen impartirse en nuestro medio, y en los cuales se somete el pensamiento de Descartes, o el de Newton, a las estrechas discusiones escolares canonizadas en la **estructura curricular** positivista sobre la que se levantan nuestras "escuelas" y "facultades".

Por último, además de la bibliografía consultada —**que** se encuentra al final del libro—, se ha incluido una bibliografía recomendada al final de cada capítulo, con lo cual se pretende ayudar al lector a continuar estudiando algunos de los temas tratados y a profundizar en ellos; en lo posible se ha hecho referencia a los materiales que pueden encontrarse en castellano.

INTRODUCCIÓN GENERAL

A grandes rasgos, un patrón de explicación en la ciencia consiste en una **determinada** manera de explicar algo científicamente. Cada patrón incorpora ciertas nociones interconectadas de causalidad y ley de la naturaleza, adopta una manera de concebir la relación del todo con las partes, y acepta ciertas reglas acerca del alcance y del tipo de inferencias que podemos hacer a partir de la experiencia.

Los tres objetivos **interrelacionados** de este libro son los siguientes. En primer lugar, presentar algunos de los patrones de explicación que pueden detectarse en la historia de la ciencia y mostrar el impacto que su utilización ha tenido en las discusiones epistemológicas. En segundo lugar, poner de manifiesto la importancia de este tipo de historia para problemas centrales de la filosofía. El tercer objetivo consiste en mostrar la importancia de la **interrelación** entre los conceptos de ley, **azar** y causalidad en la formación de los diferentes patrones de explicación de la ciencia.

A lo largo del libro hablaremos de varios patrones de explicación. No pretendo que éstos sean los únicos, ni que sean parte de una clasificación bien definida e independiente de los fines a los que sirve. Mi interés no es defender una **clasificación**, sino mostrar la presencia de un proceso de diversificación de los patrones de explicación que ha tenido lugar a través de la historia de la ciencia. Después de una breve introducción a la historia de la ciencia en la Grecia antigua, que servirá a lo largo del libro como punto de comparación, me referiré a cómo se constituyó el patrón de explicación por leyes en el siglo XVII. Muy brevemente **hablaré de cómo** evolucionó este patrón durante el siglo XVIII, y de cómo se convirtió en el núcleo de toda una elaborada concepción de la ciencia que, sobre todo en Inglaterra en el siglo XIX, giraba alrededor de la llamada metodología de las causas verdaderas.¹ **Posteriormente** me ocuparé de mostrar

¹ No hablaré en este libro de un aspecto muy importante de esta historia: el desarrollo de la probabilidad clásica y, en particular, de la teoría de la probabilidad inversa, especialmente la desarrollada por Laplace. El libro de Lorraine Daston citado en la bibliografía del capítulo 5 ofrece una historia excelente de todo este proyecto.

cómo la teoría de la evolución orgánica de Darwin cuestionó este patrón de **explicación**. El cuestionamiento de este patrón de explicación no se dio sólo mediante el surgimiento de la teoría de Darwin. Un factor que en gran medida he dejado de lado es el desarrollo de las teorías estadísticas y su importancia creciente en la ciencia. No he abundado en este punto, en parte para mantener las dimensiones del libro dentro de lo previsto; en parte porque esto requeriría el desarrollo minucioso de varios conceptos matemáticos que complicarían la **lectura** del libro; y, en parte, porque lo que me interesa esbozar son **patrones de explicación**. Por razones que explicaré sobre todo en el último capítulo, considero que no hay un patrón **estadístico** de explicación. Respecto a esto sólo diré por el momento que las explicaciones estadísticas no modelan de manera homogénea la relación entre efectos y causas, y en este sentido no pueden constituir un patrón de explicación. Por supuesto, el hecho de que no constituyan un patrón de explicación no les resta importancia; pero mi interés en este libro tiene mucho que ver con la relación entre conceptos de causa y métodos de inferencia, el tipo de relación que generalmente se modela por medio de estructuras explicativas muy generales, con supuestos **metafísicos** importantes que les sirven de apoyo, y cuyo uso tiende a imponer **normas** acerca de lo que es una buena explicación en la ciencia. Sin embargo, este interés no se manifiesta en una discusión explícitamente filosófica, sino más bien en **tratar de señalar** la presencia de temas y problemas a través del estudio de discusiones pertinentes.

Me parece que la diversificación del patrón de **explicación** por leyes iniciada en el siglo XIX termina por conformar, ya en el siglo XX (por lo menos), dos **patrones** diferentes: el de explicación narrativo y el de explicación seleccionista. Hay explicaciones que tienen la estructura de una narración; esta estructura debe tomarse muy en serio como parte del estudio de cierto tipo de inferencias científicas y como fuente de un concepto de causalidad importante en la ciencia. Hay explicaciones, en cambio, que explican por medio de un modelo de mecanismos de variación, herencia y selección, y estas explicaciones también parecen estar asociadas con cierto tipo de inferencias y con cierto concepto de causalidad. En ambos patrones de explicación (que no son excluyentes) entran de **varias** maneras las explicaciones estadísticas, las cuales son muy importantes y necesarias para poder articular estos patrones.

Lo que cuenta para los objetivos de este libro es que los patrones que **estudiaremos** tienen puntos muy importantes de contaste, y que **éstos son** significativos para el estudio del tema de la explicación.

Según Aristóteles, existían diferentes tipos de causas, entendidas como principios explicativos. Éstos eran la **forma** que recibe una cosa, la **materia** que toma esa forma y que persiste en el cambio, el **agente** que lleva a cabo el cambio, y el **propósito o fin** al que sirve este cambio. En la primera parte del libro

estudiaremos brevemente diferentes aspectos de esta concepción de la ciencia y, sobre todo, recalcaremos la idea de que, en este patrón, las explicaciones buscan adecuarse al diseño último del mundo, a la **razón** que explica por qué son las cosas como son. Esta conexión íntima entre razones y causas es uno de los puntos que van a ser rechazados en el patrón de explicación por leyes.

En la segunda parte del libro estudiaremos el patrón de explicación por leyes que comenzó a constituirse en el Renacimiento, y que se delinea claramente como un patrón de explicación autónomo en el siglo XVII. Esta concepción de la explicación en la ciencia excluye, o por lo menos trata de excluir de manera explícita, las causas finales de las explicaciones y, por lo tanto, interpreta la explicación en términos naturalistas, como una derivación a partir de leyes que están al alcance de nuestra experiencia en el sentido de que pueden ser objeto de experimentos. Se concibe a Dios como el creador de esas leyes, pero las explicaciones en términos de leyes son autónomas de la actividad de Dios. Este proceso está relacionado con los intentos sostenidos a partir del siglo XIII por distinguir, pero a la vez hacer compatibles, la ciencia y la teología.

En Aristóteles, las causas finales eran parte de una concepción **organicista** y politeísta del mundo. Ligado al reconocimiento de causas finales como principios explicativos está el necesitarismo de la **filosofía aristotélica**, es decir, la idea de que el mundo está regido por leyes inmanentes que, por decirlo metafóricamente, rigen desde dentro el comportamiento de las cosas en el mundo. La concepción griega del mundo, **ejemplificada** en los escritos de Aristóteles, concibe el mundo como impregnado de razón, como constituido por los principios que explican el porqué de los sucesos. Una **explicación** en esta manera de ver el mundo consiste en hacer explícita esa razón que se manifiesta en el ordenamiento o la estructura de las cosas que experimentamos. Así pues, este tipo de leyes atribuye a las cosas un comportamiento como parte de su esencia. Por el contrario, la teología cristiana, como toda teología de origen **semítico**, se distingue por un monoteísmo que entra en conflicto con la concepción griega de la naturaleza y de nuestras explicaciones acerca de los procesos naturales.

En la concepción semítico-cristiana, las leyes, entendidas como los principios arquitectónicos del mundo, no son descripciones ni manifestaciones de la razón (o razones) intrínseca a las cosas del mundo, sino órdenes, y, en **última** instancia, mandatos divinos. Así, el Dios judío les dice a las aguas, a los animales y a los hombres cómo deben comportarse.

El pensamiento cartesiano se ha considerado un parteaguas en la historia de la filosofía precisamente porque fundamenta la distinción entre dos tipos de causas mediante una distinción entre dos tipos de sustancias: la materia y la mente. Según Descartes y muchos filósofos naturales de los siglos XVII y XVIII, las causas finales no están en la materia; en todo caso son impuestas desde fuera

y, a fin de cuentas, provienen de la mente divina. Por lo tanto, estas causas no pueden ser objeto de explicaciones científicas. Esta actitud de rechazo a las leyes inmanentes como principios explicativos creó un abismo entre los diferentes tipos de causalidad, y en particular entre la causalidad eficiente y la causalidad final que en la filosofía de Aristóteles no existía.² En Aristóteles, la razón y la estructura material de las cosas no corresponden a dos tipos diferentes de realidad, como sucede en Descartes y en general en la filosofía moderna.

La negación de la necesidad en las leyes de la naturaleza es un punto central de la filosofía empirista a partir de Locke y Hume. Esta negación está íntimamente asociada con las razones teológicas que motivan el rechazo a las leyes inmanentes y a la utilización de causas finales en la ciencia. Si las leyes de la naturaleza fuesen necesarias, entonces Dios no podría cambiarlas, y esto limitaría los poderes divinos de una manera inaceptable. Roger Cotes, en el prefacio a la segunda edición de los *Principios matemáticos de la filosofía natural* de Isaac Newton, señala que si bien hay varios rasgos de diseño que se manifiestan evidentemente en las leyes de la naturaleza, este diseño no lleva consigo "la más mínima sombra de necesidad". Si las leyes mismas fuesen necesarias, entonces la necesidad estaría en las cosas, y sería algo que Dios no podría cambiar. Es por ello que, con la aprobación (y parece ser que a sugerencia) de Newton, él considera importante recalcar la compatibilidad de la metafísica de los *Principios* con la teología cristiana. Este tipo de preocupación teológica es un aspecto muy importante del proyecto filosófico de la fundamentación de la ciencia que tuvo lugar a partir del siglo XVII en términos de un concepto de ley determinista y mecanicista.

El concepto de ley no inmanente de la naturaleza, que tomó forma en el siglo XVII, es un concepto de ley mecanicista y determinista de aplicación universal. Esto quiere decir que, en primer lugar, las leyes de la naturaleza describen un mecanismo por medio del cual tienen lugar cambios en el mundo. En la medida en que la ciencia busca leyes de este tipo, la ciencia sólo tiene que ver con causas eficientes, es decir, con las causas-agentes de los cambios físicos. Las leyes fundamentales, de las que supuestamente pueden derivarse las demás le-

² En Descartes, como en Newton y en muchos de los principales constructores del patrón de explicación por leyes, este rechazo de las leyes inmanentes no ocurre sin ambigüedades. Descartes habló en varias ocasiones de las leyes de la naturaleza en el sentido inmanente. Newton, a diferencia de Descartes, no confundía los dos sentidos de ley, pero pensaba que había principios activos de las cosas que, por ejemplo, estaban detrás de cualquier explicación posible de la vida y de los procesos biológicos. Newton consideraba, sin embargo, que entender cómo funcionan estos principios, y por lo tanto explicar los procesos biológicos, muy posiblemente estaba fuera del alcance de nuestras capacidades racionales. Como veremos, tomarse en serio que las explicaciones científicas sólo pueden basarse en leyes no inmanentes hace que las explicaciones no puedan dar cuenta de ningún proceso histórico.

yes, tienen *aplicación universal* en dos sentidos importantes. En primer lugar porque describen la manera de actuar de los elementos básicos de los que están constituidos todos los objetos materiales, y en segundo lugar, porque son agregativas: el resultado de la acción de las leyes sobre un sistema es la suma de los efectos de esas mismas leyes sobre las partes del sistema. Por último, las leyes son deterministas en tanto que se supone que, dado un cierto estado del mundo, las leyes de la naturaleza determinan unívocamente lo que va a suceder en el futuro. No hay lugar para factores explicativos que no sean leyes que satisfagan las condiciones anteriores.

En el siglo XVII esta concepción reduccionista de la ciencia se trató de transformar en método de las ciencias más diversas. En las ciencias biológicas pronto se abandonó este proyecto, por la simple razón de que no generaba una metodología fructífera. En la biología de los siglos XVIII y XIX se utilizaron de manera generalizada los conceptos de ley inmanente y de explicación teleológica (*i.e.*, explicación por causas finales). A partir del siglo XVII sobre todo, las causas finales se asociaron con un agente (*i.e.*, una intención) sobrenatural. Ésta es una de las razones de fondo que fueron aducidas (y todavía a veces lo son) para pensar que los diferentes estudios sobre la vida no podían constituirse en una ciencia. En la medida en que en última instancia tenían que referirse a causas finales, los estudios sobre la vida sólo podían ser objeto de estudio científico de una manera limitada.

Ahora bien, el patrón de explicación por leyes universales aparece sugerido por primera vez en *El mundo* de René Descartes. Sin embargo, en esta obra se aprecia claramente una tensión entre los dos conceptos de ley que he mencionado antes. De hecho, estos distintos conceptos de ley van a seguir generando tensión en los intentos por caracterizar el patrón de explicación por leyes a lo largo de los siglos XVIII y XIX. En *El mundo* y en otras obras, Descartes habla, por un lado, de las Leyes que "Dios le impone al Mundo" y, por otro, de que:

aun si Él no le impusiera al mundo ningún orden ni proporción, sino que lo compusiera a partir del caos más desordenado y más confuso que pudieran describir los poetas, las leyes serían suficientes para hacer que las partes de ese caos se desenredaran y se dispusieran en un orden tan correcto, que tendría la forma de un mundo muy perfecto en el que seríamos capaces de ver no sólo la luz, sino también todas las demás cosas, tanto las generales como las particulares, que aparecen en este mundo verdadero.³

Según Descartes, al tenor de este último pasaje, las leyes de la naturaleza no sólo explican la cosmología sino la cosmogonía, esto es, no sólo explican cómo

Esto lo dice Descartes al principio del capítulo 6 de *El mundo*. Véase la bibliografía que aparece al final del capítulo para la ficha completa.

está hecho el mundo, sino cómo es que llegó a ser lo que es. Pero las leyes **mecanicistas deterministas** sancionadas por la filosofía-teología cristiana no pueden tener esa capacidad de explicar un proceso histórico, o por lo menos no queda nada claro cómo podrían tenerlo, en la medida en que, como veremos, se acepta que la explicación de un proceso histórico requiere incorporar causas finales o factores contingentes como parte de la explicación. En el siglo XIX esta tensión va a tornarse en el eje de la discusión filosófica acerca de lo que es una ley de la naturaleza y acerca del alcance de las explicaciones basadas en leyes. En la tercera parte de este libro examinaremos esta discusión y, en especial, mostraremos su importancia con relación al surgimiento y la evaluación de la teoría de la evolución por selección natural propuesta por **Darwin** en 1859.

En el siglo XIX, **John Herschel** es uno de los **más** distinguidos exponentes de una concepción empirista de la ciencia que reconoce la tensión implícita entre el tipo de ley mecanicista asociado con las leyes de la química y la física, y el tipo de ley teleológica que se requiere para explicar procesos históricos. **Herschel** eliminó la tensión de cuajo; simplemente consideró que cualquier **ley** que involucrara aspectos **teleológicos** no era científica. Esto crea una separación tajante y explícita entre las ciencias físicas y otros tipos de ciencia, en particular entre las ciencias biológicas y las históricas. Irónicamente, sólo unos cuantos años después de que **Herschel** y **Whewell** formularon de manera clara y **contundente** el alcance de las explicaciones por leyes deterministas y mecanicistas, surgieron las primeras teorías mecanicistas que incorporaban aspectos contingentes del mundo (en **términos** de conceptos históricos y probabilistas) en sus explicaciones. Las teorías de **Boltzman**, en la física, y la teoría de **Darwin** surgieron en un clima en el que las aplicaciones del concepto de probabilidad **estaban** diseminándose por toda la ciencia.⁴

Pasaré después a examinar esta **tensión** que se dio entre las ciencias específicas que introducían aspectos contingentes en sus explicaciones, y la concepción filosófica de la ciencia articulada alrededor del modelo de explicación por leyes deterministas y mecanicistas, que no tenía lugar **para** tales teorías. El papel que **desempeña** el azar en la teoría de la evolución de **Darwin** se estudiará con cierto **detalle**.⁵ A partir de este análisis llegaremos a una serie de **conclusio-**

⁴ La narración de esta historia de la diseminación de conceptos probabilistas y del surgimiento de la convicción de la objetividad de las leyes estadísticas puede encontrarse en el libro de **Ian Hacking** *La domesticación del azar*.

⁵ Muchas veces en la literatura se señala que es posible modificar el patrón de explicación por leyes de manera tal que pueda seguir siendo considerado el único patrón de explicación en la ciencia. Si fuera posible, por ejemplo, encontrar un concepto de ley indeterminista que desempeñara el papel que tiene una ley determinista en el patrón de explicación por leyes, entonces simplemente podríamos pensar que, aunque modificado, este sigue siendo el patrón de explicación en la cien-

nes acerca de los conceptos de ley y de causalidad que intervienen en la teoría de la evolución. Haremos ver que, implícitos en la teoría de **Darwin**, y en otras teorías de esa época que no examinaremos, hay patrones de explicación que no se ajustan al de explicación por leyes. Identificaremos dos de ellos: el patrón de explicación narrativo y el patrón de explicación **seleccionista**. Veremos, por medio de algunos **ejemplos**, cómo esos patrones se han diseminado como una herramienta conceptual indispensable en una serie de disciplinas de la ciencia contemporánea. Estos patrones de explicación no son los únicos que incorporan el azar (objetivo) como recurso explicativo. La mecánica cuántica, por ejemplo, ha utilizado el recurso del azar objetivo para formular explicaciones de ciertos procesos físicos fundamentales de manera **muy** distinta. Es debatible, pero me parece que esa manera de utilizar el recurso del azar objetivo en las explicaciones puede todavía entenderse en el marco de un patrón de explicación por leyes, si bien no el tradicionalmente **aceptado**.⁶

En el último capítulo, y a manera de conclusión, trataremos de explicar por qué ha sido tan lenta y difícil la asimilación del azar en los patrones científicos de explicación. Esto me ha **llevado** a concluir esta introducción con una nota de advertencia. Un patrón de explicación es un tema para la reflexión filosófica. Las diferentes tradiciones científicas producen explicaciones sin preocuparse (las más de **las** veces) por articular filosóficamente el concepto de explicación utilizado. Hay explicaciones que han incorporado conceptos probabilistas de manera objetiva a partir de la segunda mitad del siglo XIX, pero el problema **filosófico** de articular las **implicaciones ontológicas** que tienen ese **tipo** de explicaciones sólo empezó a reconocerse como un problema central en el último tercio del siglo XX. Antes se reconocía la existencia de problemas de interpretación o de elucidación **conceptual** en la mecánica cuántica y la teoría de la evolución, por ejemplo, pero estos problemas se consideraban **relativamente** aislados, como problemas que no tenían por qué cuestionar la caracterización filosófica de las explicaciones científicas como derivaciones de leyes. Actualmente me parece que este cuestionamiento ha llegado a ser ineludible.

cia. Ésta es una idea que **Hempel** y muchos otros filósofos después de él han tratado de desarrollar (véase la introducción de **Kitcher** y **Salmon** 1989, por ejemplo). Sin embargo, no parece haber un patrón de explicación con leyes no deterministas. Hay diferentes sentidos en los que el azar puede incorporarse en explicaciones, pero no parece haber un modelo unificado, ni mucho menos un modelo de explicación por leyes que englobe las diferentes maneras en las que el azar (lo contingente) puede ser un factor explicativo. En el capítulo 8 veremos en particular las diferencias importantes que existen entre la manera como el azar se **incorpora** en las explicaciones de la **biología** después de **Darwin**.

⁶ En la bibliografía recomendada menciono algunos de los trabajos en los que he abordado este tema.

DE LOS EFECTOS A LAS CAUSAS

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

El mundo, o un tratado de la luz fue escrito por Descartes entre 1629 y 1632. Su objetivo era "explicar todos los fenómenos de la naturaleza, esto es, toda la física". El libro original que Descartes planeaba escribir incluía no sólo *El mundo*, sino también varios tratados científicos, entre los que se incluía *El tratado del hombre*. *El mundo* ha sido traducido al castellano por Alianza Universidad (última edición 1991), y también hay una edición de la UNAM (traducción de Laura Benítez, 1989).

Respecto a temas que no van a ser tratados en este libro, quiero mencionar lo siguiente: en el siglo XX, Carl G. Hempel fue el autor que inició el examen del problema de la explicación como un tema central de la filosofía de la ciencia. En castellano hay traducción de su libro *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science* [versión en castellano: *La explicación científica*, trad. Néstor Míguez, Barcelona, Paidós, 1988]. El libro compilado por Philip Kitcher y Wesley Salmon, *Scientific Explanation*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. XIII, University of Minnesota Press, 1989, es una buena fuente para conocer el punto de vista de los autores y otros temas importantes en el estudio del problema de la explicación durante la segunda mitad del siglo XX; el capítulo introductorio de Salmon (que ha sido publicado como un libro independiente) es una buena introducción a la historia de los estudios sobre la explicación a partir de los trabajos de Hempel, aunque resulta bastante parcial en ciertos aspectos. Un libro que reconoce la importancia de la diversidad, en cuanto a maneras de explicar en la ciencia, y la incorpora en una teoría filosófica de la explicación en la ciencia, es el de Bas C. van Fraassen *La imagen científica*, publicado por Paidós en coedición con el Instituto de Investigaciones Filosóficas y el Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos de la UNAM. En varios trabajos he examinado el tema del concepto de azar implícito en la mecánica cuántica, y del papel que diferentes conceptos de azar tienen en las explicaciones de esa teoría, por ejemplo: "El azar en la mecánica cuántica: de Bohr a Bell", *Critica* XXIII (69), pp. 137–153, 1991; "La objetividad del azar en un mundo determinista", *Critica*, XII (65), pp. 3–21 (1990); "¿Qué es una ley irreductiblemente estadística?: el caso de la mecánica cuántica", *Theoria* 1992. "Más allá de la presuposición newtoniana: propiedades genuinamente disposicionales en la mecánica cuántica", *Critica*, XXII (66), pp. 25–37. La historia de la argumentación entre los griegos desde perspectivas diferentes pero complementarias se presenta de manera excelente en el libro de Luis Vega Reñón *La trama de la demostración*, Madrid, Alianza Editorial, 1990, y en el libro de G.E.R. Lloyd, *Polaridad y analogía*, trad. Luis Vega, Madrid, Taurus, 1987.

⁷ *Critica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, México, Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM.

PRIMERA PARTE

EL SURGIMIENTO DE LA CIENCIA ENTRE LOS GRIEGOS

§ 1. EL SURGIMIENTO DE LA CIENCIA EN LA GRECIA ANTIGUA

Las características más distintivas de ese tipo de conocimiento que llamamos ciencia en la cultura occidental se originaron en el seno de la civilización griega, la cual floreció en las costas del **mar** Egeo, en lo que ahora es Grecia y Turquía, alrededor del siglo VII antes de nuestra era. Hay varios aspectos de la **cultura** griega que parecen haber contribuido al surgimiento de la ciencia. No voy a tratar de ponderar **aquí** cada uno de ellos, ya que esto **rebasaría** los objetivos de este libro.

En primer lugar, es importante recordar que la cultura griega se desarrolló en el contexto de una compleja organización social con características peculiares. Esta organización social consistía en una serie de ciudades-Estado autónomas pero económica y **militarmente** interdependientes, y de ciudades satélite, por lo general formadas por antiguos colonos. En el siglo VIII a. de C. se inventó la escritura alfabética, la cual empezó a difundirse en **las** diferentes comunidades. La difusión de este invento, como muchos otros aspectos de la cultura griega, se vio favorecida por una serie de reformas político-legales en muchas **ciudades-Estado**, y por la subsecuente introducción de nuevas constituciones y leyes. Las **reformas** permitieron a su vez el ascenso **social** y el reconocimiento político de artesanos y de otras comunidades de profesionales. La difusión de la escritura alfabética, su incorporación en la cultura a través de **la** enseñanza temprana en muchas comunidades, el desarrollo de tecnologías fácilmente accesibles a diferentes comunidades para la producción del papel, la importancia que empezó a tener el dialecto **jónico** (y posteriormente el dórico), como lengua franca, fueron, indudablemente, factores importantes en el surgimiento de las instituciones científicas.

La ciencia antigua consistía en un sistema de creencias desarrolladas como parte de un núcleo cultural común a las diferentes culturas que constituían el

mundo griego antiguo. La búsqueda de un **lenguaje común** parecía estar en el fondo del rechazo a explicaciones que utilizaban factores no naturales, como dioses, encantamientos o rituales mágicos. Pero ni es tan claro en qué consistía este rechazo a recurrir a causas no naturales, ni tampoco los mismos **científicos-filósofos** antiguos eran, desde nuestro punto de vista, muy consistentes al respecto.

Pese a esa falta de claridad y consistencia, en este marco pueden detectarse dos tipos importantes de tradiciones científicas en la Grecia antigua: las tradiciones que llamaremos teórico-especulativas y **las** tradiciones empíricas. En lo que **resta** del capítulo daremos una caracterización breve de estos dos tipos de tradiciones, lo cual nos permitirá **develar** la tensión existente entre los dos tipos de explicaciones científicas y **de** concepciones del método científico que siguen siendo un aspecto central y significativo de la ciencia hasta el presente.

§ 2. LAS TRADICIONES TEÓRICO-ESPECULATIVAS O FILOSÓFICAS

Tales, Anaximandro y **Anaximenes** son los tres primeros filósofos que la **historiografía** de la ciencia griega asocia con la formación de un sistema de creencias científico-filosófico. Se les conoce como los filósofos milesios, porque son originarios de **Mileto**, puerto griego en la costa de lo que ahora es el oeste de Turquía.

Tales parece haber identificado el agua con el principio material de todas las cosas. Se dice que Tales trató de explicar la generación de las plantas y animales. así como muchos otros procesos, en términos de rarefacción y condensación. Anaximandro introdujo los **términos** "elemento" y "principio" para referirse a aquello a partir de lo cual existen todas las cosas. Parece haber pensado metafóricamente en los elementos como si fueran **las** "letras" de un lenguaje **filosófico** en el cual se describe la naturaleza de las cosas. **Otros** filósofos importantes en **el desarrollo** de esta tradición teórica son Pitágoras, Anaxágoras y **Demócrito**. De una manera diferente, cada uno de ellos elaboró la idea central de las tradiciones teóricas: el rechazo a factores explicativos sobrenaturales y la búsqueda de principios explicativos naturales de carácter general que permitieran dar cuenta de la experiencia de manera inteligible. Estos filósofos no estaban interesados en la sistematización de datos de la experiencia como un **fin** importante de por sí, sino **más** bien en la función que esta sistematización ejercía en discusiones abstractas en las que contaban la economía y la consistencia de los argumentos, así como los principios en los que se basaban las teorías.

Pitágoras fue el iniciador de una escuela filosófica **que**, a diferencia de los filósofos **milesios**, abandonó los intentos por dar explicaciones de los fenómenos naturales en **términos** de principios especulativos acerca de la **composición**

material de las cosas. **Muy** probablemente este abandono de la **búsqueda** de principios materiales de explicación estaba ligado al creciente escepticismo que generó este tipo de propuestas. Los pitagóricos, por el contrario, trataron de abstraer una realidad numérica subyacente en lo que consideraban era la realidad aparente que experimentamos. Fueron ellos los primeros que intentaron establecer una fundamentación matemática del conocimiento. Esto se hizo en parte por medio de identificaciones que ahora parecen muy arbitrarias, por ejemplo, la identificación de la justicia con el **número** cuatro (el primer cuadrado), y del matrimonio con el número cinco (dos asociado con la mujer y tres con el hombre). En todo caso, es indudable que los pitagóricos son importantes en la historia del pensamiento no sólo por el desarrollo de los rudimentos del método deductivo y su aplicación en pruebas matemáticas, sino también por el diseño y la probable construcción de experimentos controlados en acústica.

Anaxágoras parece haber desarrollado la primera teoría del mundo físico en términos de una distinción entre dos tipos de cosas, las cosas homeoméricas, en las que las partes participan de la o **las** propiedades que hacen que la cosa sea lo que es, y las cosas en las que las partes no son propiedades con esas características. Para Anaxágoras, las cosas que son homeoméricas son los elementos; la **carne** y los huesos son homeoméricas porque pedazos de carne y pedazos de hueso son carne y hueso respectivamente, pero una mano no es una **homeomérica** porque la parte de una mano no es una mano. Homeoméricas son, pues, todas aquellas cosas en las que la parte es como el todo (en el sentido antes explicado). Anaxágoras también es importante porque desarrolló la primera teoría de la explicación en la ciencia. Una explicación, para Anaxágoras, consistía en poner las cosas en su lugar. Una explicación científica dirigiría y **arreglaría** todo en la mejor de las formas posibles.

Muchos filósofos posteriores, sobre todo Platón, derivaron de esta idea un principio metodológico que según ellos **debería** regular la **investigación** científica. Para explicar por qué una cosa llega a ser, parece o existe, lo que hay que hacer es encontrar la mejor manera para que esta cosa sea o actúe. Este principio **ideal** metodológico no sólo **daría** como resultado una explicación de cómo son las cosas, sino que ofrecería una explicación de por qué están compuestas como lo están necesariamente. A este método de Anaxágoras, **Platón** lo llamó "el primer **método**", esto es, el método que idealmente deberíamos seguir para alcanzar el verdadero conocimiento.

El personaje Sócrates, en el diálogo *Fedón* de Platón, nos dice que cuando **él** era joven estaba muy entusiasmado por ese tipo de conocimiento que **llaman** ciencia natural "**porque** me **parecía** espléndido conocer las causas que lo explican todo, por qué las cosas llegan a ser, por qué perecen, por qué existen": Sócrates señala que tuvo muchos cambios de opinión durante su investigación

y terminó desconfiando de las propuestas filosóficas como la de Anaxágoras, que pretendían darnos conocimiento de las causas últimas del **porqué** de las cosas.

Sócrates considera, siguiendo la tradición presocrática y a Anaxágoras en particular, que por medio de la ciencia uno debería llegar a explicaciones no sólo de cómo están compuestas las cosas, sino a explicaciones de por qué están compuestas como están *necesariamente*. Pero, según Sócrates, las explicaciones de Anaxágoras en términos de elementos constituyentes no pueden ser más que condiciones necesarias de una explicación adecuada; de ninguna manera pueden ser la causa real de los fenómenos, esto es, lo que pone todas las cosas en el lugar que les corresponde. Así, si alguien me dice que los huesos son la causa de lo que hago porque sin los huesos no podría hacer lo que hago, estaría en lo correcto, pero esto no sería para nada una explicación de lo que hago. El mejor tipo de explicación de los fenómenos, la verdadera explicación necesaria y suficiente de los mismos consiste en mostrar cómo las cosas forman parte del mejor arreglo posible del mundo. Pero este tipo de explicación no nos es accesible.

En lugar de ese primer método ideal, pero inaccesible, de alcanzar la verdad de las cosas, Sócrates propuso otro que consistía en la proposición de hipótesis: considérese la teoría (hipótesis) que parezca la más adecuada y **dése** por verdadera en tanto que no podamos derivar de ella resultados que contradigan los de nuestra experiencia (Fedón 99e-100b). Sócrates explicó su idea con un ejemplo. Considérese la hipótesis según la cual es por la Belleza que las cosas son bellas. Esto es una explicación plausible de por qué algo es lo que es debido a una forma (la Belleza en este caso). Si alguien cuestiona esta hipótesis, debemos ignorar el cuestionamiento provisionalmente, hasta que se haya examinado si las consecuencias que se siguen de la hipótesis están de acuerdo entre sí, o se contradicen. La mejor teoría que podemos encontrar —dice Sócrates— es como una balsa, tenemos que dejarnos llevar por ella, a menos que alguien sea capaz de hacer el viaje de manera más segura en el navío de una doctrina divina. Así, este "segundo mejor método" consiste en estudiar la verdad de las cosas en teorías.

El método de Anaxágoras, el "primer método", nos es inaccesible, pero tampoco podemos simplemente estudiar las cosas directamente por medio de los sentidos. Para Sócrates esto es análogo a mirar el Sol directamente para estudiar un eclipse, el resultado es la ceguera. Es sólo a través de la razón —del uso de hipótesis y su ponderación racional— como podemos alcanzar el conocimiento científico. Así, Platón esboza, en el Fedón, un antecedente de lo que ahora llamamos el método hipotético deductivo. Platón no hace explícito el papel que desempeña la deducción en ese método, ni el papel que tiene la con-

trastación de hipótesis. El primer punto va a ser desarrollada por Aristóteles, el segundo no se desarrollará sistemáticamente sino hasta el Renacimiento, aunque, como vimos antes, está claro que Platón ya tiene una idea de la importancia de contrastar las consecuencias de una hipótesis con la experiencia.

§ 3. EL PROBLEMA DEL CAMBIO

Los filósofos milesios dieron por sentado que había un mundo de la experiencia sensible y que este mundo podía explicarse a partir del cambio de una o varias sustancias fundamentales. Parménides parece haber sido el primer filósofo que cuestionó de manera sistemática esta creencia como punto de partida para una explicación de la experiencia sensible. Parménides arguyó que nada puede llegar a ser a partir de lo que no es, y que, en particular, nada puede llegar a ser. Lo que es tiene que haber sido. De esto concluye que cualquier cambio es imposible. Zenón de Elea y Melisus de Samos desarrollaron esta idea central de Parménides por medio de una serie de argumentos. Una conclusión importante de estos filósofos es que el conocimiento de los sentidos es ilusorio porque se basa en la experiencia del cambio que, como muestran sus argumentos, no es posible. Platón tomó estos argumentos como evidencia de que sólo a través de la razón, no a través de los sentidos, podemos tener conocimiento verdadero.

Empédocles y Anaxágoras, a quienes podemos identificar como los iniciadores de la filosofía natural, así como los atomistas Leucipo y Demócrito, aceptaron la idea de Parménides de que el ser no puede provenir del no ser, pero trataron de encontrar la manera de justificar nuestra experiencia del cambio. Partiendo de esa idea, Empédocles introdujo la idea de un elemento físico, una sustancia original (no creada) y simple. Empédocles explicó el cambio (o si se quiere, los diferentes tipos de cambio que experimentamos) como un proceso de mezcla o separación de los elementos simples, resolvió el problema de cómo explicar la aparente infinidad de propiedades y sustancias de nuestra experiencia sensible introduciendo el concepto de proporción. Diferentes proporciones de los elementos simples dan lugar a diferentes sustancias.

Anaxágoras resolvió el problema del cambio de manera diferente que Empédocles. En lugar de tratar de explicar cómo la aparente diversidad de nuestra experiencia se explica a partir de las diferentes proporciones de algunas sustancias simples, Anaxágoras partió de la idea de que en el principio, así como en la actualidad, todo está mezclado con todo. Anaxágoras parecía estar pensando en cosas o propiedades como seco, húmedo, tierra, aire, carne, sangre, nube, agua, piedra. Esto lo llevó a explicar la nutrición, por ejemplo, como el proceso por el cual el cuerpo absorbe las partes de carne, de sangre, de hueso, etcétera, que

necesita y que forman parte de la comida. El fuego, en cambio, se explicaba por la separación del elemento aire (en las llamas) de la tierra (las cenizas).

Según Anaxágoras, en el principio del mundo todo estaba incluido en todo, y ahora también todo se encuentra en todo pero, entonces, ¿en qué consiste el cambio? Y sobre todo, ¿cómo se llegaron a formar las cosas tal y como las conocemos? La respuesta de Anaxágoras es que, al principio, la Mente ordenó las cosas de manera tal que se inició un proceso que llevó a la creación del mundo que conocemos. La respuesta de Anaxágoras es elegante, pero como varios filósofos posteriores lo hicieron ver, no es suficiente para explicar los fenómenos del cambio en nuestro mundo ya que no discrimina entre diferentes tipos de cambio. Nuestra experiencia no es sólo experiencia de cambio, sino experiencia de diferentes tipos de cambio. El agua cambia de color en la noche, o en el atardecer, pero no queremos decir que éste sea un cambio en el agua, mientras que si queremos decir, en el caso de la madera que se consume en el fuego, que hay un cambio en la madera. Si cerramos los ojos no vemos un objeto que está enfrente de nosotros, pero evitamos la implicación de que de este no ver el objeto se sigue un cambio en el objeto, y concluimos que sólo está involucrado un cambio en nosotros.

No es suficiente, pues, explicar el cambio, sino que es necesario desarrollar un concepto o familia de conceptos que clasifique y explique por separado los diferentes tipos de cambio. En el mundo de Anaxágoras todo era mezcla y, por lo tanto, no había punto de partida metafísico que permitiera distinguir diferentes tipos de cambio.

Las teorías atomistas de Leucipo y Demócrito respondieron al desafío de Parménides y los eleatas de otra manera. Lo que existe realmente son sustancias indestructibles, eternas, sólidas. Además de las propiedades metafísicas de los elementos de Anaxágoras (indestructibilidad y eternidad), los elementos básicos de Leucipo y Demócrito, los átomos, son sólidos, indestructibles, tienen forma, *i.e.* tienen propiedades físicas y, por lo tanto, permiten explicar el cambio físico como un cambio real, sin necesidad de explicar como real cualquier cambio. Esto es, la teoría atomista permite distinguir diferentes tipos de cambio y asociar los fenómenos de la experiencia sensible con epifenómenos de lo que sucede realmente: el movimiento de los átomos en el vacío. Al parecer, Demócrito no pensaba que los átomos tuvieran que ser necesariamente pequeños, como lo pensamos ahora; los átomos podían ser de tamaño macroscópico, si bien en nuestro entorno sólo tenemos la experiencia de átomos no visibles (muy pequeños). Esto dejaba abierta la posibilidad de que los cuerpos celestes fueran átomos, por ejemplo, y que esto explicara su incorruptibilidad y su movimiento perfectamente circular. Los átomos no tienen color, ni sabor, ni olor.

En un fragmento de Demócrito se expresa de manera muy clara la distinción entre dos maneras del ser, la cual le va a permitir formular una distinción entre la apariencia y lo que realmente es:

Por convención (*nomoi*) es el color, y por convención es lo dulce, y por convención es (cada) combinación, pero en realidad (*etéei*) [sólo existen] el vacío y los átomos.

Los atomistas parecen haber entendido que la distinción entre propiedades atómicas (de los átomos) y las propiedades no atómicas correspondía a la distinción entre cualidades que existen *etéei* y cualidades que existen *nomoi*. Así, esta distinción de Leucipo y Demócrito es la primera versión explícita en la historia de la filosofía de la distinción entre propiedades primarias y secundarias, una de las distinciones centrales de la filosofía hasta el presente. Regresaremos a este tema en la segunda parte del libro. Lo que es importante para nosotros es recalcar que los atomistas tenían muy clara la idea de que las propiedades secundarias (las propiedades *nomoi*) podían y debían explicarse en términos de las propiedades de los constituyentes atómicos, y de que este tipo de explicación era distintivo de las explicaciones científicas. Las propiedades *nomoi* de los compuestos, los olores, los colores, etcétera, se explican en términos (*etéei*) del orden, la configuración, la posición y el movimiento de los átomos.

Esto puede entenderse de dos maneras: podemos pensar que todas las cosas son mezclas, y que, en este sentido, lo que percibimos son sólo apariencias; sin embargo, esto lleva a la consecuencia absurda de que tendríamos que decir que el fuego sólo aparentemente quema, o que el azúcar sólo es aparentemente dulce. La sal, por ejemplo, sería salada solamente en virtud de cierta configuración de los átomos, pero no sería salada en sí misma. La segunda es la manera como Demócrito parece haber sido entendido por muchos de sus contemporáneos y comentaristas posteriores. Teofrasto, el estudiante y colega de Aristóteles, dijo que para Demócrito no había una naturaleza de los objetos sensibles (*physis*), sino que todas las naturalezas son afecciones de la percepción, en la medida en que se alteran nuestros sentidos y la imaginación que viene de allí. Pues no hay una naturaleza de lo caliente o de lo frío, sino que es la forma de los átomos la que se altera y produce un cambio en nosotros.

Por supuesto, quedan muchas preguntas por plantear y responder. Por ejemplo, ¿son todas las propiedades no *etéei* explicables en términos de propiedades *etéei*? ¿En qué sentido son las propiedades no *etéei* dependientes de la mente? ¿Son estas propiedades causadas por la mente, o son sólo construcciones mentales? Éstas son preguntas que siguen siendo importantes en la filosofía y las respuestas que se les den, como veremos a lo largo del libro, siguen determinando la respuesta a muchas otras preguntas relacionadas con el problema de lo

que es una explicación científica. El primero que trató de dar una respuesta sistemática a estas preguntas fue Aristóteles.

§ 4. CAUSALIDAD Y EXPLICACIÓN EN ARISTÓTELES

Para Aristóteles, los patrones de explicación en la ciencia hasta su época se podían agrupar alrededor de dos posiciones extremas respecto al problema del cambio: las teorías de Platón y las de Demócrito. Según Aristóteles, en el problema del cambio Platón se limita al problema de la generación de los elementos (en el *Timeo*), pero no le presta ninguna atención al problema de la generación de los cuerpos compuestos y a la explicación de sus propiedades de alteración y crecimiento, un tipo de proceso que claramente forma parte de nuestra experiencia; los procesos vitales son ejemplos de este tipo de proceso. Así, según Aristóteles, el método de Platón era incapaz de dar cuenta de muchos de los procesos de cambio que constituyen una gran parte de nuestra experiencia.

Por otra parte, Demócrito podía distinguir los diferentes tipos de cambio que experimentamos en términos de la combinación en diferentes proporciones de los átomos; sin embargo, a pesar de que en principio la teoría de Demócrito hacía posible distinguir entre los diferentes tipos de cambio, de hecho no permitía explicar la alteración y el crecimiento. Por ejemplo, la teoría de Demócrito no podía explicar por qué se pasa de una combinación a otra. Es más, la teoría de Demócrito, dice Aristóteles, hace imposible el cambio, en tanto que lo identifica con algo que es, en última instancia, una ilusión. Realmente las propiedades de los fenómenos naturales sólo parecen ser, pero en la realidad no son; son meras ilusiones de nuestros sentidos. Explicar los fenómenos naturales, y en particular los procesos de alteración y crecimiento, requiere la posibilidad de explicar la presencia de propiedades emergentes, propiedades que no son una mera agregación de las propiedades de las partes. Y esto, dice Aristóteles, requiere explicaciones que recurran a causas finales y formales.

Aristóteles pensaba que entender el cambio requería entender los diferentes tipos de cambio. Según Aristóteles hay cuatro tipos de cambio que son resultado de cuatro tipos de principios explicativos o causas: la forma que recibe una cosa; la materia que toma esa forma y que persiste en el cambio; el agente que lleva a cabo el cambio y el propósito o fin al que sirve este cambio. Éstas se conocen respectivamente como causas formales, materiales, eficientes y finales. Por ejemplo, la madera utilizada en la construcción de una mesa es la causa material de la mesa, la causa **formal** es la forma de la mesa, la causa eficiente es el carpintero, y la causa **final** es el fin para el que la mesa se produce.

La deficiencia central del "método **físico**", como llama Aristóteles al método de Demócrito, es que no puede explicar las propiedades de un todo, a no ser que este todo se piense como compuesto de partes cuya única diferencia entre ellas es que son geoméricamente distintas. El método de Demócrito solo puede explicar qué es una silla diciendo que es algo que está compuesto de pedazos de madera. En Aristóteles, las deficiencias de este método se manifiestan, sobre todo, en la explicación de los fenómenos biológicos.¹

Demócrito y Platón no se limitan a reducir el tema de la ciencia a un solo tema, los átomos en un caso, y las formas en el otro, sino que también reducen los principios de la ciencia a un solo conjunto de principios. Ambos piensan que hay un único conjunto de principios o nociones básicas para todas las ciencias y ambos recurren a la especulación y a los recursos del entendimiento para formularlos. Para Platón, los principios de la ciencia se conciben como hipótesis en el marco de demostraciones. Platón trató de reducir esos principios, por medio de la dialéctica, a un principio o forma última. Por otro lado, Demócrito pensaba que las sensaciones eran meras imágenes, y buscó criterios para extraer de esas **imágenes** signos confiables de realidad.

Las causas finales y formales de Aristóteles son principios explicativos indispensables para explicar un proceso en función de la relación del todo con las partes, cuando la explicación va más allá de la mera composición material explicable en términos de la aditividad geométrica de las partes. Está claro que para abordar este tipo de explicación no basta con hablar de "todos" y de "partes", sino que es necesario hablar en relación con cierta perspectiva, punto de vista o nivel de organización. Para entender mejor cuál es la idea de Aristóteles al respecto, recurriremos a conceptos contemporáneos y a maneras de enfocar el problema que no son propias de Aristóteles. Este aparente anacronismo, sin embargo, nos permitirá, de manera relativamente sencilla, tener una

¹ El método correcto en la biología consiste en buscar la definición del animal como un todo, explicar su sustancia y su forma, y posteriormente dar explicaciones de sus diversas partes (órganos) de la misma manera. En sus explicaciones biológicas está claro el hecho de que, para Aristóteles, los diferentes tipos de explicaciones no son excluyentes sino complementarias. Aristóteles (por ejemplo, en *Partes de los animales* 658b2-6) explica la presencia de la cabellera a partir de dos explicaciones complementarias. La cabeza humana tiene mucho pelo por necesidad debido a la humedad del cerebro y debido a las suturas del cráneo (porque en donde hay mucha humedad y calor el crecimiento va a ser mayor). Pero también, dice Aristóteles, la cabeza tiene mucho pelo porque esto tiene el fin de proteger al cerebro contra los excesos de frío y calor. Ambas explicaciones son complementarias, una explicación se da en términos de causas materiales y la otra en términos del fin para el que está allí. El crecimiento del cabello es algo que le sucede necesariamente a ciertos materiales en ciertas condiciones (de calor y humedad). El otro tipo de explicación señala que el crecimiento del cabello ocurre necesariamente en cierto tipo de ente diseñado para llevar a cabo ciertas funciones.

idea más justa de la concepción aristotélica que como la concibe la interpretación tradicional.

§ 5. AGREGATIVIDAD Y REDUCIBILIDAD:

EL PROBLEMA DE LA EXPLICACIÓN DEL TODO A PARTIR DE LAS PROPIEDADES DE LAS PARTES

En un sentido, en el nivel físico-molecular un organismo es la suma o agregación de sus partes, pero esto no es cierto en el nivel bioquímico ni en otros niveles de organización. Por ejemplo, la suma de la masa de las partes es la masa del todo. La "universalidad" del nivel físico, el sentido en el que intuitivamente pensamos que la física es la más fundamental de las ciencias, tiene que ver precisamente con esta propiedad. Hasta hace muy poco se pensaba que el nivel físico se distinguía de los otros niveles de organización porque la actividad de los sistemas podía explicarse como la mera agregación de la actividad de sus partes. En términos de propiedades, las propiedades físicas de los sistemas son una agregación de las propiedades de las partes. Un ser humano es algo más que las moléculas que lo componen, pero la masa de su organismo es simplemente la suma de la masa de sus moléculas componentes. El largo de una mesa puede explicarse como la suma o agregación del largo de sus componentes. Es precisamente esta idea, la de que el largo de la mesa, a diferencia del color, por ejemplo, puede explicarse como la suma del largo de sus componentes o partes, la que está en el fondo de la distinción entre propiedades *nomoi* y propiedades *etéei* en Demócrito, entre homeomerías y no homeomerías en Aristóteles y Anaxágoras, y entre propiedades primarias y secundarias en Galileo, Newton, Locke, Boyle y muchos otros autores del siglo XVII de los que hablaremos posteriormente.

Es importante recalcar que la no agregatividad de las propiedades no es algo que tenga que ver con nuestra manera de percibir el mundo. La estabilidad de un edificio depende de su estructura, y de cómo las diferentes subestructuras interactúan una con otra. Si un edificio ha sido planeado en secciones, de manera tal que a la hora de un terremoto vibren con cierta independencia, no permitir este libre juego de las partes puede disminuir considerablemente su capacidad para resistir el terremoto. Así, la estabilidad del edificio es no agregativa con respecto a las partes con libre juego. El edificio no va a ser necesariamente más estable por tener más partes con libre juego. A veces sí ocurrirá esto, pero otras no. La estabilidad, pues, es una propiedad compleja de la manera en que las partes del edificio se relacionan y llegan a distribuir esfuerzos a la hora de un sismo.

Ahora bien, hay varias maneras en las que un sistema puede verse como la agregación de las partes y, con respecto a cada una de estas maneras de agregatividad, es posible definir un concepto de reduccionismo.² En general diremos que un sistema es reducible a sus partes en la medida en que (con respecto a ciertas propiedades "primarias" que identifican para nosotros al objeto) el todo puede verse como una mera agregación de las partes. En caso de que esas propiedades, con respecto a las cuales hablamos de reducción, sean materiales o físicas como las propiedades geométricas o la impenetrabilidad, entonces hablamos de reduccionismo en un sentido material. Así, una mesa, en tanto que se la identifica por su solidez, sus dimensiones geométricas y, más en general, por sus propiedades primarias, es reducible a las partes en este sentido material. Lo mismo sucede con las propiedades "materiales" de un edificio, el peso o el número de ventanas: son reducibles a sus partes en este sentido material. De manera similar, según el modelo clásico de la genética, las características fenotípicas de un organismo son reducibles en este sentido material a las propiedades de los genes.

Pero una mesa, un edificio y un fenotipo no son reducibles a sus partes en muchos otros sentidos. Las propiedades "secundarias" de la mesa, como su textura o su color, la estabilidad del edificio y las frecuencias génicas en las poblaciones, respectivamente, son no agregativas, en diferentes sentidos en cada caso, con respecto a las propiedades de las partes.³ En estos sentidos, diferentes en cada caso, las propiedades del todo no son reducibles a las de las partes.

La reducibilidad material se refiere a la existencia de propiedades cuya relación constituye o genera la propiedad del sistema "materialmente" (usando la terminología de Aristóteles). El reduccionismo es el marco en el cual se plantea la "emergencia" de propiedades, pero la emergencia requiere algo más que la no reducibilidad. En terminología aristotélica, la emergencia requiere la introducción de una causalidad formal y final, además de una causalidad material.

En resumen, utilizando la terminología introducida anteriormente, podemos decir con más claridad cual es la contribución de Aristóteles a este problema: Aristóteles reconoció la importancia de las explicaciones teleológicas, es decir, explicaciones por causas finales, en relación con sistemas en los cuales las propiedades del todo son no agregativas de las propiedades de sus partes.⁴

² William Wimsatt trata a fondo este tema en "Reductionism and Aggregativity" (1986) y en "La emergencia como no agregatividad", en S. Martínez y A. Barahona (comps.), *Explicación e historia en biología* (en prensa).

³ Con frecuencias génicas nos referimos a la proporción en que diferentes genotipos se encuentran representados en una población. Un genotipo es una clase o subpoblación de factores hereditarios (genes) de una población.

⁴ Es importante recalcar que para Aristóteles la operación de las causas finales en la naturaleza no depende ni refiere a las acciones de un ser racional. La teleología está íntimamente ligada a la

Ahora bien, hicimos una distinción entre reducción y agregatividad, pero es necesario elaborar esta distinción. Supongamos que hay leyes universales **fundamentales** de la naturaleza, leyes acerca del movimiento de los átomos, por ejemplo, y que toda explicación de los fenómenos naturales puede, en última instancia, subsumirse bajo estas leyes. Si esto se acepta, el modelo de la explicación en Aristóteles se reduce a la tesis de que las explicaciones por causas **finales involucran** algún factor dirigido a un **fin**, una "entelequia" que no tiene conexión alguna con el mundo material. La crítica **cartesiana** a las causas finales de Aristóteles y muchas otras críticas posteriores (incluso contemporáneas) son de este tipo. Esto es, si se acepta que las explicaciones consisten en la subsunción bajo leyes, entonces las causas finales no pueden ser parte de la naturaleza.

La explicación **aristotélica**, sin embargo, se **fundamenta** en algo muy distinto de la idea de ley universal que nos es familiar desde la revolución científica. Aristóteles quiere mostrar que es necesario introducir consideraciones de causas finales y **formales** en las explicaciones biológicas y en otros dominios en los que es **crucial** explicar la presencia de propiedades no agregativas. Pero ¿qué es lo que Aristóteles quiere decir cuando asevera que el llegar-a-ser de un ser vivo tiene como **fin** el organismo maduro, por ejemplo? Elucidar el concepto **aristotélico** de causalidad final requiere elucidar el sentido en el que Aristóteles piensa que la referencia a un fin del desarrollo nos permite explicar la existencia y el carácter de ese **desarrollo**.⁵ Trataremos de entender la respuesta de **Aristóteles** en términos de la formulación del sentido o sentidos de no agregatividad que son pertinentes para las explicaciones biológicas.

A **grandes** rasgos podemos decir que **Aristóteles** consideraba que la naturaleza orgánica estaba formada por entes individuales o elementos, cada uno de un tipo específico, con varios atributos y potencialidades. Todo proceso consiste en la acción o la interacción de estos elementos. Un movimiento o cambio se explica en la medida en que se muestra como el resultado o la actualización de la acción (interacción) de estos elementos que no son reducibles materialmente.

biología. Los cambios en un ser vivo tienen lugar (*en parte*) porque contribuyen a un fin. Como veremos en la cuarta parte de este libro, este análisis de Aristóteles ha encontrado eco en una serie de explicaciones contemporáneas en las ciencias biológicas.

⁵ Muchas veces se ha dicho que, en *Lo generación de los animales*, Aristóteles sugiere que es posible, por lo menos en principio, dar cuenta del desarrollo de un organismo vivo totalmente en términos de los constituyentes materiales del organismo. Esto, se arguye, muestra que Aristóteles no era consistente, o que no tenía claro lo que era una explicación por causas finales más allá de una explicación mecanicista exhaustiva. Pero este tipo de argumento no tiene en cuenta el hecho de que una explicación teleológica (por causas finales) no excluye una explicación por causas materiales (meanicista). Este tema se trata de manera excelente por varios autores en el libro de Gotthelf y Lennox citado al final del capítulo.

Una vez que, como parte de los supuestos de la explicación, se acepta que los elementos componentes tienen poderes **causales** que no son reducibles a su base material, el siguiente paso es la pregunta: ¿Podemos entender el desarrollo de un organismo como un agregado de las actualizaciones de los elementos potencialmente activos (de las "fuerzas") o hay algo en la **actualización** de la forma que no es un mero agregado de la actualización de los componentes?

Por ejemplo, veamos el caso del edificio construido en partes relativamente autónomas. ¿Podemos entender la estabilidad del edificio como un mero agregado de la actualización de los componentes en relación con su estabilidad a la hora de un terremoto? Si sabemos con suficiente detalle cuáles son las propiedades de los materiales, ¿sabemos todo lo que hay que saber acerca de la estabilidad del edificio? No queda **claro** que sea así. De ser así, podría pensarse que una **explicación** por causas finales es reducible a una explicación por **causas** materiales, la cual hana referencia a la actualización de los elementos potenciales activos. Por lo menos en el caso de los sistemas biológicos, la respuesta de Aristóteles es clara. El desarrollo de un organismo vivo no es la mera agregación de la actualización de sus elementos componentes. En *la Física* (II.8), Aristóteles dice lo siguiente:

¿Por qué suponer que la naturaleza actúa con un fin y por qué es mejor? ¿Por qué no podría ser todo como la lluvia? Zeus no manda la lluvia para que crezca el grano: la lluvia cae por necesidad. La materia que se fue hacia arriba se enfría, y una vez fría se vuelve agua y cae. Es meramente concurrente que el grano crezca cuando esto sucede [...] ¿Y qué puede impedir pensar que las partes de la naturaleza son así? [198b12]

Aristóteles piensa que precisamente lo distintivo de la **explicación por** causas finales es que, como en el caso de la biología, las propiedades de las cosas sólo pueden explicarse como propiedades no agregativas de alguna forma, que en **todo** caso explican la finalidad de las cosas en el contexto de un plan racional del mundo.

La idea de Aristóteles es clara. Una explicación por causas materiales no puede explicar las propiedades emergentes que son pertinentes para explicar la relación del todo con las partes. Una explicación por causas finales es algo más que una descripción de la actividad de los potenciales de los elementos constituyentes (descritos por las leyes de la transformación de la materia). Las propiedades de un ser vivo **sólo** pueden explicarse como propiedades no agregativas de la forma característica del ser vivo específico de que se trate. En resumen, Aristóteles sistematiza una concepción de ciencia en la **cual** los procesos que hay que explicar tienen aspectos que son explicables por medio de diferentes tipos de causas. Estos diferentes aspectos de la explicación no deben **interpre-**

tarse jerárquicamente. La explicación material de un proceso, en cuanto a las propiedades **físicas** de los elementos constituyentes, no es más **fundamental** que otras explicaciones que describen otro tipo de causas.

En el siglo XVII predominó una concepción de las explicaciones como descripción de mecanismos, que reducía los diferentes tipos de causa de la ciencia a causas materiales y eficientes. Las causas finales y formales de Aristóteles se **colapsan** en Dios. El patrón de explicación mecanicista que se desarrolla a partir del siglo XVII es el tema de la segunda parte de este libro. En la cuarta parte veremos que en la biología contemporánea se recuperan algunos aspectos significativos de la concepción aristotélica de la ciencia, en el contexto de las explicaciones que ofrece la teoría de la evolución. Es **profundamente** significativo que las explicaciones **darwinianas** hayan logrado reconciliar las explicaciones **mecanicistas** con las explicaciones teleológicas, sin recurrir al supuesto de que existe un diseño racional del mundo al que en **última** instancia se refiere la finalidad.

§ 6. LA TEORÍA DE LA EXPLICACIÓN EN ARISTÓTELES

Para Aristóteles, una ciencia demostrativa es un sistema deductivo **axiomatizado** que incluye un número finito de demostraciones conectadas. Una demostración es un tipo de silogismo, y un silogismo es un cierto tipo de argumento deductivo. En los *Analíticos segundos*, Aristóteles **supuestamente** elabora una teoría de la explicación como un tipo de demostración silogística. Una explicación, para Aristóteles, sería un silogismo en el que la premisa mayor es una verdad necesaria.

Es un problema ampliamente reconocido por los intérpretes de Aristóteles el hecho de que esta **teoría** filosófica no parece tener nada que ver con la manera como, de hecho, Aristóteles presenta las explicaciones en su trabajo científico. Creo que, por lo menos en parte, Jonathan Barnes (1969) tiene razón al sostener que esta teoría no debe verse como una teoría prescriptiva para la ciencia, sino más bien como una presentación formal de cómo debería enseñarse un cuerpo de conocimientos ya establecido ("Aristotle's Theory of Demonstration" *Phronesis* 14 [1969]: pp. 123–152). En todo caso, sólo me interesa una parte muy pequeña de esta teoría de Aristóteles, y esto obedece a la importancia que tiene como antecedente histórico de un tipo de explicación causal del que nos ocuparemos a lo largo del libro.

Aristóteles contrasta dos de las **formas** que puede tomar una demostración. Por un lado está la forma que podemos **llamar** de "causa **próxima**", en la que se demuestra la presencia de un objeto observado por medio de un silogismo en el

cual el término medio del silogismo especifica la causa próxima del efecto. Un ejemplo de explicación por causa próxima que usa Aristóteles es el siguiente:

Los cuerpos celestes cercanos a la Tierra no titilan
Los planetas están cercanos a la Tierra;
Por lo tanto, los planetas no titilan.

En este caso se explica la presencia de un efecto observado —no titilar— como la consecuencia de algo que es propio de los planetas: no titilar.

Por otro lado está el tipo de demostración en el cual se demuestra la presencia de una causa a partir de su efecto. Esta supuesta explicación que nos **lleva** del efecto a la causa por medio de una explicación científica válida es ciertamente problemática, pues va en contra de lo que en muchos otros lugares **Aristóteles** y toda la tradición clásica señalan respecto a que la forma correcta de una explicación toma siempre la forma de una inferencia que va de las causas a **los** efectos. Sin embargo, Aristóteles señala que por **lo** menos cuando el término medio del silogismo es una causa próxima, ésta es una buena **explicación**, porque en este caso el ejemplo puede "**convertirse**" en la causa. Llamemos a este tipo de explicaciones **causales** "**explicaciones por conversión del efecto**". Podemos **transformar** el ejemplo anterior de explicación por causa próxima en una explicación por conversión del efecto de la manera siguiente:

Los cuerpos celestes que no titilan están cerca de la Tierra
Los planetas no titilan
Por lo tanto, los planetas están cerca de la Tierra.

La idea de Aristóteles parece ser que, en la medida en que el efecto y su causa próxima son coextensivos, entonces es posible intercambiar la causa y el efecto y seguir teniendo un argumento correcto (aunque no válido). Pero saber exactamente qué quiso decir **Aristóteles** es, como señalé, problemático. El ejemplo indica, sin embargo, un patrón de explicación que posteriormente, en el siglo XVI, va a ser explorado, y que será importante incluso para Descartes, Galileo y Newton.

Pero antes de pasar a estos temas, que serán tratados en la segunda parte del libro, es necesario referimos, aunque sea brevemente, a una fuente importante de donde proviene la idea de que **explicar** requiere **convertir** los efectos en causas. Me refiero a la tradición **hipocrática** en medicina.

§ 7. LA TRADICIÓN HIPOCRÁTICA

Los textos hipocráticos son el **corpus** más antiguo de textos científicos que se conserva; son **parte** de una colección de textos sobre medicina que parecen haberse concentrado en una biblioteca que, según la leyenda, **fue** iniciada por Hipócrates de Cos, médico del siglo V antes de nuestra era y **fundador** de una de las escuelas más famosas de la antigüedad, la escuela de medicina hipocrática. Ésta fue una escuela en los dos sentidos importantes de la palabra, pues, por un **lado**, fue un centro para **el** estudio de la medicina, y, por otro, los médicos asociados con la escuela compartían una serie de prácticas y creencias. Estas prácticas y creencias son el tema de los textos hipocráticos. Entre ellos hay algunos que ofrecen descripciones muy **detailladas** del curso de las enfermedades, mientras que otros son intentos diversos de clasificación de enfermedades, manuales de diagnóstico y tratamiento.

Así como los filósofos presocráticos ya rechazaban el recurso de la **intervención** divina en **las** explicaciones **científicas** de astronomía, física, biología y otras ciencias naturales, de manera similar los hipocráticos rechazaban que las enfermedades fueran ocasionadas por algo más que causas **naturales**.⁶ Uno de **los** textos hipocráticos, *Sobre la enfermedad sagrada*, empieza como sigue:

no creo que la llamada "enfermedad sagrada" sea más sagrada o divina que cualquier otra enfermedad, por el contrario, tiene características específicas y una causa definida. Sin embargo, porque es completamente diferente de otras enfermedades, ha sido vista como una visita divina por aquellos que, siendo sólo humanos, la ven con ignorancia y asombro.

La "enfermedad sagrada" a la que se refiere el texto es la epilepsia. El autor del texto critica a los charlatanes que invocan artes mágicas para sanar al paciente, que se **arrogan** el crédito si el paciente se recupera, y que culpan a los dioses si éste se muere. En los textos hipocráticos, en general, es clara la importancia que se le atribuye a la observación **metódica** como parte del diagnóstico de una enfermedad. En este manuscrito, por ejemplo, el autor atribuye la enfermedad a una descarga de fluido en el cerebro, y para apoyar su diagnóstico recurre a la autopsia de una cabra que la padecía.

Uno de los textos más significativos de la colección hipocrática es el titulado *Sobre la medicina antigua*, escrito, muy probablemente, a finales del siglo V antes de nuestra era. El tema central de la obra es la medicina como ciencia, no

⁶ La distinción entre filósofos presocráticos y tradiciones de conocimiento como la de la medicina hipocrática es una distinción bastante artificial entre áreas del saber que no existía en la Grecia antigua.

una enfermedad en particular ni un método terapéutico o de diagnóstico específico, sino la medicina, su método y las razones que el autor considera que hacen de la medicina la ciencia por excelencia.

El autor de *Sobre la medicina antigua* se esfuerza por mostrar la diferencia entre la ciencia médica que **él** considera la verdadera ciencia, y **las** teorías de ciertos practicantes de la medicina basadas en *philosophia*, esto es, en el razonamiento de quienes, como **Empédocles**, consideran que para hacer ciencia correctamente se debe empezar por saber cuál es la naturaleza última del objeto de estudio. En el caso de la medicina sería necesario empezar por saber, según estos "filósofos", cuál es la naturaleza última del hombre, cómo llegó a ser lo que es, o de qué elementos está compuesto el hombre a fin de cuentas. Sin embargo, señala **el** autor de *Sobre la medicina antigua*, tales problemas no tienen nada que ver con **la** medicina; la medicina no tiene cabida para esa práctica basada en la postulación de algunos principios acerca de la naturaleza última del hombre, que luego trata de reconstruir una etiología de todas las enfermedades sobre la base de esos principios hipotéticos. El texto *Sobre la medicina antigua* parece haber sido escrito ex profeso para oponerse a esa medicina racionalista que tenía su origen en la **filosofía** natural, esto es, en las tradiciones a las cuales nos hemos referido como "teórico-especulativas". **Más** en el fondo, el autor de *Sobre la medicina antigua* critica toda la tradición **científico-filosófica** que pretende fundar el conocimiento científico sobre principios especulativos. Mediante esa crítica elabora un patrón de explicación en el que la conversión de los efectos en causas es **crucial**. Esto se hace en el contexto de una amplia narrativa que apoya el diagnóstico.

El autor de *Sobre la medicina antigua* rechaza la aplicación del método de los filósofos naturales (el método de las hipótesis) aplicado a la medicina porque considera que es imposible determinar la verdad o la falsedad de las creencias obtenidas de **la** investigación basada en tales hipótesis. Más aún, según el autor de *Sobre la medicina antigua*, sólo la medicina y su método pueden **llevarnos** a conocimiento cierto; el método de la medicina es empírico y exacto, requiere que el médico aprenda a ver al hombre en relación con su medio **ambiente**, que busque entender lo que es el hombre en **relación** con **lo que** come, con lo que bebe, y cuál será el efecto de las comidas y bebidas. Esto no quiere decir que la medicina carezca de una estructura conceptual propia; muy por el contrario. El concepto central de la medicina hipocrática es el concepto de *physis*. La *physis* o naturaleza del hombre es un concepto ligado a la práctica médica y consiste en una elaboración de lo que es el hombre en el nivel **fenomenológico**, **en el nivel de lo que puede observarse o inferirse de una observación cuidadosa, experimentada y educada**. Me parece que por medio de la **elabora-**

ción del concepto de *physis* se regulan y se trata de establecer criterios de corrección para la conversión de los efectos en causas.

Está claro, entonces, que desde los inicios mismos de la ciencia hay una tensión entre diferentes tipos de tradiciones científicas. Por un lado están las tradiciones "filosóficas" que se basan en la derivación de consecuencias a partir de principios especulativos, esto es, las hipótesis de las que habla el Sócrates de Platón y el autor de *Sobre la medicina antigua*. Por otro lado están las tradiciones científicas que se basan en una sistematización de las observaciones y en el intento por situar una parte en un todo, a partir de indicios que la persona *educada para ello* puede transformar en un diagnóstico. Esta tensión entre tradiciones de las que habla *Sobre la medicina antigua* ha seguido siendo parte de la ciencia a lo largo de su historia hasta el presente, y es un aspecto que debe tomarse en cuenta para entender el problema filosófico que supone caracterizar una explicación científica. En un tipo de tradición de la cual la medicina hipocrática es paradigmática, la sistematización de la experiencia y de las observaciones es el punto de partida para un ordenamiento de la experiencia, para una articulación de los fenómenos con poder explicativo y predictivo. En el caso de la medicina hipocrática se busca una clasificación de las enfermedades, una caracterización del orden intrínseco a las diferentes enfermedades y sus causas, que nos permita predecir el desarrollo de las enfermedades y, en lo posible, controlarlo. Esto se hace a partir de una reconstitución *holista* de la experiencia con el paciente mediante el diagnóstico. Mientras que en las tradiciones "filosóficas" el interés reside en el desarrollo de estructuras *conceptuales* especulativas, teorías, que sean capaces de explicar de una manera unificada los fenómenos naturales en un cierto rango de la experiencia, en la medicina hipocrática se trata de establecer cánones de inferencia correcta a partir de una reconstitución de la experiencia con el paciente como un todo. En este sentido un buen diagnóstico *no* consiste en una inferencia que va de algo observado a una causa no observada, sino que debe verse como una "conversión" de los síntomas en el cuadro clínico de una enfermedad.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Un texto que analiza las concepciones del mundo físico de los antiguos griegos, en conexión con los problemas filosóficos, es el de S. Sambursky, *El mundo físico de los griegos*, Madrid, Alianza Universidad, 1990. Un libro excelente sobre los orígenes de la ciencia griega en un contexto amplio es *Magic, Reason and Experience*, de G.E.R. Lloyd, Cambridge, 1979. El tema de la tradición hipocrática ha sido tratado por Pedro Laín Entralgo, *La medicina hipocrática*,

Madrid, Alianza Editorial, 1970; en el capítulo II se proporciona una caracterización de la noción de *physis* en esta tradición. Un libro que recoge la *reapreciación* contemporánea de la biología aristotélica es *Philosophical Issues in Aristotle's Biology*, compilado por Allan Gotthelf y James Lennox, Cambridge, Cambridge University Press, 1987.

Hay versión castellana de los textos hipocráticos: *Tratados hipocráticos*, introducción, traducción y notas de G. García Gual *et al.*, Madrid, Gredos, 1983.

INTRODUCCIÓN

Durante **la** Edad Media, el conocimiento científico se redujo en **gran** medida a la transmisión del conocimiento proveniente de la antigüedad en lo que se ha llamado tradiciones de conocimiento "alto". El conocimiento "bajo" de los **ar-**tesanos, los médicos y los ingenieros no tenía prácticamente puntos de contacto con el conocimiento "alto". El desarrollo de la tecnología y la creciente importancia de las **máquinas** en la vida de las sociedades europeas, a partir del siglo XII, dieron origen a una revalorización de las tradiciones artesanales y generaron la diversificación y especialización de esas tradiciones; hacia el siglo XVI esto planteó un desafío serio a la división consagrada entre tipos de conocimiento "bajo" y "alto".

La ciencia del siglo XVII, y la "revolución científica" en **particular**, deben verse como parte de un proceso mediante el cual se admite la importancia social del conocimiento tecnológico y la necesidad de una síntesis de los diferentes tipos de conocimiento. La síntesis que **tuvo lugar** en el siglo XVII fue **el** resultado de una serie de cambios en la manera como el conocimiento se evaluaba y se **enseñaba**. La diseminación y la diversificación de importantes tradiciones de conocimiento práctico, así como una serie de modificaciones importantes en los **currícula** de los principales centros de enseñanza en Europa, durante los **siglos** XV y XVI, sentaron las bases para la **síntesis** revolucionaria llevada a cabo por Bacon, Galileo, Descartes y Newton, entre otros. Los intentos de unificación de las matemáticas (conocimiento "alto") y **la** física (conocimiento "bajo") en el siglo XVI constituyen un aspecto importante de la búsqueda de esa síntesis.

En Descartes, la síntesis entre la matemática y **la** física fue casi exclusivamente simbólica; se basó en una supuesta derivación de la física a partir de la metafísica. No obstante, Descartes utiliza ya claramente un patrón de explicación característico de esta **síntesis**: el patrón de explicación basado en la búsqueda de mecanismos y leyes de aplicación universal. En Galileo y Newton, en cambio, se formula una síntesis exitosa entre la física y la matemática por medio de la construcción de modelos matemáticos que proporcionan una interpretación de los resultados experimentales.

Sin embargo, tanto **Descartes como Galileo** y Newton, y todos sus contemporáneos, concebían las explicaciones científicas de acuerdo con la concepción heredada del escolasticismo; según esta concepción, las explicaciones son demostraciones a partir de principios que no admiten duda. En particular **en Newton**, esta concepción de la explicación dificulta el entendimiento de la relación entre la naturaleza del conocimiento que es producto de los experimentos y la supuesta naturaleza demostrativa de la ciencia verdadera. Newton trató de resolver esta tensión desarrollando la idea de que las explicaciones científicas pueden considerarse "deducciones de los fenómenos". Esto es, que las explicaciones científicas consisten en hacer explícita cierta estructura matemática de los fenómenos. Esta respuesta requiere el supuesto de que existen leyes **universales** de la naturaleza, y es por **ello** que este supuesto se convierte en el núcleo de un nuevo patrón de explicación que se desarrolló a partir **del siglo XVIII**. Si bien este patrón de explicación pasó por una serie de transformaciones que dieron lugar a variantes importantes, tuvo como núcleo distintivo la idea de que explicar consiste en mostrar cómo cierto fenómeno se sigue de ciertas leyes. Veremos, sin embargo, que la historia de la **consolidación** de este patrón de explicación es bastante compleja y requiere el desarrollo de una serie de teorías metafísicas y epistemológicas asociadas con los nombres de **Leibniz**, Locke y Hume, entre otros.

2

LA MECANIZACIÓN DEL MUNDO

Este capítulo está dedicado a **la** formación del patrón de explicación por leyes, y a las discusiones filosóficas acerca del concepto de causa asociado con este patrón de explicación en el siglo **XVII**. Aquí nos referiremos a dos desarrollos importantes que tuvieron lugar en los siglos anteriores al **XVII**, los cuales contribuyeron de manera decisiva al clima cultural en el que surgió **el** concepto de ley de la naturaleza y **el** patrón de explicación por leyes; clima en el cual se plantea el problema epistemológico central asociado con este patrón de explicación: cómo puede entenderse como conocimiento el paso de los efectos a las causas en la manera requerida por este patrón de explicación. A lo largo de los **demás capítulos** de esta parte del libro, veremos algunas de las discusiones y problemas importantes que se plantearon los filósofos naturales del siglo **XVII** alrededor del concepto de ley de la naturaleza y del patrón de explicación por leyes. Una buena parte de esta discusión giró alrededor de las implicaciones **filosóficas** de los avances de Galileo y Newton en la física, los cuales **permitieron**, por primera vez, tener una idea clara y **fructífera** de las posibilidades de la **matematización** del mundo que, a partir de Descartes, pero sobre todo con Newton, apareció estrechamente unida al desarrollo del patrón de explicación por leyes.

§ 1. EL MUNDO COMO MÁQUINA

El conocimiento científico en la Edad Media se restringía a los círculos académicos de las cortes y de las grandes universidades. En el siglo **XVI**, una serie de profesiones técnicas empezaron a **desafiar** este estado de cosas. Hasta entonces, los ingenieros se habían encargado de construir y transportar las máquinas utilizadas para sitiar una ciudad. Se trataba de máquinas bastante simples que no requerían de sus constructores ningún conocimiento de matemáticas ni de **física**. Por lo general, los ingenieros eran artesanos analfabetos que habían aprendido el oficio **del** padre o de **algún** pariente, pero prácticamente no existía la idea de que las máquinas podían mejorarse y que para ello era necesario **enten-**

der cómo funcionaban. Esta convicción cambió con el Renacimiento. El desarrollo de ciudades más grandes, con servicios urbanos más complejos y en mayor escala, así como la creciente importancia de los sistemas defensivos, hicieron que el trabajo del ingeniero fuera más demandado y, paralelamente, le otorgaron una nueva y más apreciada posición social. El desarrollo del comercio marino trajo consigo la necesidad de construir más y mejores barcos y puertos, y, en cuanto al cambio de posición social, esto tuvo consecuencias similares para los ingenieros que se dedicaban a su construcción.

El ingeniero ya no podía ser un mero operador o constructor de un tipo de máquina muy simple y poco refinada. Algunos de ellos tuvieron que conocer las tendencias humanistas de su tiempo para poder traducir en obra física los nuevos diseños de maquinaria, de edificios, puentes y ciudades que exigían las nuevas expectativas. Lentamente, sobre todo durante los siglos XV y XVI, el ingeniero se fue convirtiendo en alguien predominantemente dedicado al diseño y la construcción de nuevas máquinas, y como tal empezó a tener un estatus social más alto y a tener acceso al conocimiento humanista hasta entonces reservado a las clases nobles y a los medios intelectuales que las rodeaban (véase, por ejemplo, Ferguson, 1993).

Leonardo da Vinci (1452–1519) es el ejemplo paradigmático de este nuevo tipo de ingeniero. Leonardo quería construir una máquina de guerra con mayor alcance y penetración que las que hasta entonces habían sido construidas. Conforme fue meditando el problema, le llamó la atención la dificultad de determinar la trayectoria de un proyectil. Según la física de Aristóteles, no era posible que un movimiento natural y un movimiento violento coexistieran en el mismo cuerpo. Se pensaba que un proyectil viajaba primero con el movimiento violento que le daba la catapulta, por ejemplo, y posteriormente, cuando este movimiento violento se agotaba, empezaba a caer verticalmente hacia el suelo. Leonardo era un buen observador y varias veces había observado el lanzamiento de proyectiles sobre las murallas de muchas ciudades. Realizar estas observaciones en la noche era especialmente útil, pues en ese momento era posible distinguir con facilidad la trayectoria de fuego que dejaban. Esto convenció a Leonardo de que Aristóteles estaba equivocado, y aunque no supo decir qué curva era la que seguían los proyectiles, entendió claramente que no consistía en las dos líneas rectas de las que había hablado Aristóteles. Obviamente se trataba de una curva continua.

Leonardo fue, pues, uno de esos artesanos instruidos que demuestran que no todo el conocimiento está en los libros, y que los académicos deberían prestarle atención al conocimiento práctico.

Asociado al desarrollo de esta nueva profesión del ingeniero humanista, está el desarrollo de las máquinas mismas. Durante el Renacimiento, las máquinas

de artillería, los molinos, las bombas de agua y los relojes, sobre todo, aumentaron su grado de complejidad y su eficiencia, y requirieron mayor inversión y organización para su diseño, construcción y uso. En el caso de los relojes, por ejemplo, inicialmente se construyeron los de tipo mecánico, los relojes de pared hechos por herreros, que fue muy común encontrar en las torres de las iglesias a partir del siglo XIV. Estos relojes, que al principio no tenían ni agujas minuterías (ésta es una invención del siglo XVI), eran muy inexactos. En el siglo XVI la precisión que podían alcanzar generaba un error de alrededor de 10 minutos por día. Como era tradicional con las máquinas de guerra, cada reloj tenía un operador encargado de darle cuerda varias veces al día, y de ajustarlo, aceitarlo y repararlo cuando se descomponía, lo cual era algo muy común. Para ajustar los relojes mecánicos se disponía de relojes solares, los cuales habían sido perfeccionados desde la antigüedad; éstos no requerían ningún conocimiento especializado y, sobre todo, no tenían partes ocultas que fueran responsables de su función, por lo cual no eran objeto de asombro.

La precisión de los relojes mecánicos se mejoró significativamente con la introducción del péndulo en lugar del sistema de balanzas utilizado anteriormente. Este invento, que al parecer inicialmente fue concebido por Galileo y llevado a la práctica por Huygens, es un primer ejemplo del trabajo conjunto de artesanos y científicos de diferentes partes de Europa. La construcción de relojes dio lugar a la formación de gremios especializados en la construcción y perfeccionamiento de los mecanismos necesarios. Estos artesanos ya no eran herreros analfabetos, sino que solían ser médicos, filósofos o astrólogos que entendían el latín escrito y estaban en contacto con otros filósofos naturales interesados en el desarrollo tecnológico en diferentes partes de Europa.

Cada vez con mayor frecuencia se fueron creando relojes que no sólo marcaban el tiempo sino, como todavía es posible verlo en algunas ciudades europeas, mostraban algún espectáculo mecánicamente programado; en algunos casos se construían con planetarios que cada vez con mayor realismo constituían un modelo mecánico del movimiento de los cielos. Por supuesto, entre las diferentes ciudades había cierta competencia por tener los relojes más espectaculares. Ya en el siglo XVI era parte del estatus de una ciudad, en muchas regiones de Europa, tener un reloj-espectáculo que asombrara por igual a los ciudadanos y a los visitantes.

Estos relojes constituyen, pues, el primer resultado concreto del desarrollo de estos gremios de artesanos instruidos que iban a llevar a cabo la "revolución científica". El reloj, o mejor dicho, los mecanismos de relojería, son explicables a partir de principios físicos de los que se sigue con necesidad el movimiento que marca las horas o describe la posición de los astros en el firmamento. Más importante aun: a través del desarrollo de este tipo de mecanismos, el conoci-

miento científico de los físicos-matemáticos-filósofos llevó por primera vez a adelantos tecnológicos de importancia, no sólo en la construcción de relojes, sino en el desarrollo de otros aparatos mecánicos de importancia en la navegación y en otras áreas de interés para el capitalismo naciente.

Todo este proceso generó una mayor familiaridad de los pobladores de las ciudades con la acción y las posibilidades de las máquinas. Las máquinas no sólo empezaron a hacer un trabajo que antes era hecho por seres humanos o por animales, sino que fueron capaces de reproducir procesos naturales, como el movimiento de los astros. Así, las máquinas y sus capacidades dieron pie a una nueva visión del mundo: el mundo como mecanismo. Ahora bien, si los hombres podían construir un universo mecánico en miniatura, ¿por qué no pensar que Dios había hecho lo mismo con nuestro universo? El mundo podría ser una máquina muy compleja diseñada e impulsada por Dios, y la tarea del filósofo natural podía verse como la tarea de descubrir, a partir del movimiento armónico y regular de las agujas, el mecanismo subyacente (véase al respecto **Freudenthal** 1982).

Descartes transformó esa metáfora del mundo como máquina en un sistema filosófico y en un programa científico. Pero antes de pasar a examinar esta formulación de Descartes y el programa científico al que dio lugar (brevemente en este capítulo y posteriormente en otros capítulos con un poco más de detalle), es importante mostrar otros factores culturales que hicieron posible la articulación de esta nueva visión del mundo. Para ello es necesario regresar unos siglos atrás.

§ 2. LA MATEMATIZACIÓN DEL MUNDO

El tratado astronómico del *Almagesto* de Ptolomeo,¹ uno de los grandes tratados de la ciencia griega tardía, fue escrito en el siglo II de nuestra era. El *Almagesto* se introdujo en la Europa latina en la Edad Media, pero no tuvo ningún impacto en la cultura medieval. Si bien el sistema astronómico de Ptolomeo anticipaba una serie de movimientos celestes que contradecían las predicciones de **Aristóteles**, simplemente no existía el conocimiento matemático requerido para derivar esas predicciones de un modelo matemático. Fue sólo en el siglo XVI, con un interés creciente en la matemática y en la astronomía, cuando las implicaciones del modelo de Ptolomeo pudieron apreciarse.

¹ El nombre original del tratado de Ptolomeo es *Syntaxis Mathematica* (siglo II d.C.). *Almagesto* es el nombre que los árabes le dieron posteriormente, sin embargo, es el que comúnmente se usa en los textos especializados.

La preocupación por los sistemas astronómicos estaba asociada al incremento en la importancia de la navegación a lugares lejanos, sobre todo después del descubrimiento de América. La navegación a través del Atlántico requería instrumentos más precisos que aquellos con los que se contó hasta el siglo XV. Se empezó a pensar, y esta idea fue tomada muy en serio por los grandes matemáticos-astrónomos de la época, que la astronomía permitiría resolver los problemas que planteaba la navegación. Esta esperanza nunca llegó a cristalizarse, pues el problema de encontrar maneras más seguras y confiables de navegación era bastante más complejo de lo que se pensaba entonces; no obstante, esta idea fue un factor muy importante en la revalorización de la astronomía y del saber matemático que requería esta ciencia.

En la tradición escolástica se seguía una interpretación de **Aristóteles**, según la cual la física trata de aquellas cosas que cambian y tienen una existencia independiente, mientras que las matemáticas se ocupan de las cosas que no cambian ni tienen una existencia independiente. Otra manera de formular la diferencia consistía en mostrar que las conclusiones de la matemática no se demostraban por medio de causas, como en la física. Y se entendía que esto implicaba una separación tajante entre el dominio de la matemática y el dominio de la física.

Esta distinción se refleja en cierta organización de las profesiones; aunque quizás también deberíamos verla como un reflejo de ello. Los astrónomos-matemáticos eran, por lo general, miembros de alguna corte real, mientras que los astrónomos-físicos, quienes hacían los cálculos que se utilizaban en la práctica, eran generalmente personas de las clases bajas con cierta instrucción obtenida por lo regular por su asociación con la iglesia (véase, por ejemplo, **Biagioli** 1993).

En el siglo XVII hubo dos grandes proyectos cuyo objeto era unificar la física y la matemática, los proyectos de Descartes y de Galileo (que Newton elaboró posteriormente). En este capítulo veremos el proyecto de Descartes, el de Galileo lo veremos muy brevemente en el siguiente. Ambos proyectos están **emparentados** con el reconocimiento de la importancia de la matemática en la ciencia empírica, el cual adoptó varias formas.

Una de esas formas se observó en la búsqueda de aplicaciones tecnológicas y en la búsqueda de mejoras a la tecnología existente. Hasta el siglo XV, esta idea no fue un aspecto significativo de la concepción de la matemática en la cultura europea. El desarrollo de máquinas de relojería mucho más exactas, y de molinos y bombas de agua bastante más eficientes, tuvo un profundo impacto en el reconocimiento de la tecnología como factor de progreso social, y de la matemática como un conocimiento necesario para la elaboración de tales innovaciones. Vimos antes cómo la tecnología de los mecanismos de relojería debe

entenderse como un aspecto importante en **la elaboración** y **la difusión** de la filosofía mecanicista.

Otra forma en la que se plasma el reconocimiento de las matemáticas, que no es independiente de la anterior, son **las reformas a los currícula** en los planteles de educación superior en toda Europa, y en particular en los colegios jesuitas. En el siglo xvi, **Christopher Clavius**, famoso educador jesuita (y uno de los **principales** responsables de **la reforma gregoriana al calendario**), escribió una serie de textos para los estudiantes de los colegios jesuitas en los que, a diferencia de la tradicional educación escolástica, se hacía mucho énfasis en el estudio de **la matemática** como generadora de técnicas útiles para otras disciplinas, y se reinterpretaba a **Aristóteles** como un apoyo al respecto. En 1580, en un documento muy importante que sentó los lineamientos generales de la educación jesuita en el siglo xvii, Clavius abogaba en favor de la importancia de la matemática, haciendo ver que **la física** no podía entenderse sin ésta.²

Como ya dijimos, ésta era una posición heterodoxa en el siglo xvi. La posición ortodoxa consideraba que las matemáticas, la geometría y la aritmética, en particular, no eran verdaderas ciencias. Clavius reinterpreta la idea aristotélica de que las ciencias deberían basarse en sus propios y peculiares principios, los cuales proporcionan las premisas mayores para demostraciones silogísticas (deductivas). La concepción aristotélica de la demostración científica, en **la** que las conclusiones se obtenían a partir de causas **inmediatas** y necesarias, representaba el ideal del conocimiento humano, pero la certeza y la necesidad de una demostración provenía de sus premisas. Por lo tanto, Clavius piensa que cada ciencia, y en particular **la matemática**, **debía** fundamentarse en el tipo de **premisas** apropiadas para el tipo de conocimiento en cuestión. Esto **llevó a Clavius** a considerar que **la matemática** tenía un lugar privilegiado entre las ciencias. **Mientras** que todas **las** disciplinas se generan a partir de conocimiento preexistente, articulado en principios presupuestos, las disciplinas matemáticas tienen sus propios principios. Por lo tanto, en la medida en que podamos utilizarlas para

² Entre los colegios que daban mayor prominencia a la matemática en la educación estaban el colegio La Fleche en Normandía, donde estudiaron Descartes y Mersenne, y con el que tuvieron estrecho contacto Arnauld y Pascal. El colegio de Wurzburg, donde estudiaron Athanasius Kircher y Gaspar Schott, dos figuras importantes en la promoción de la ciencia experimental y la utilización de métodos matemáticos en el diseño de aparatos en los siglos xvi y xvii. El Colegio Romano, donde estudiaron muchos de los grandes matemáticos italianos de los siglos xvi y xvii y que forman parte del ambiente intelectual en el que se educó Galileo. Esta reforma a la educación promovida por Clavius es un ejemplo impresionante del impacto que tal tipo de reformas pueden tener en una cultura, y de la importancia que tiene para una sociedad lograr su establecimiento. Para un estudio a fondo de esta reforma de Clavius y del papel de la **matemática** en la **formación** de una nueva concepción de experiencia y de disciplina en el siglo xvii, véase el libro de Peter Dear, *Discipline and*

formular los principios presupuestos por **otras** ciencias, estaremos **ahorrando** presupuestos no demostrables.

Al mismo tiempo que Clavius abogó en favor de la importancia de la matemática en las ciencias empíricas, también apuntó a un problema de fondo: si una ciencia no puede confirmar sus propios principios, **¿cómo** establecemos estos principios de los que depende la certeza de la ciencia? **La gran** discusión acerca del escepticismo en el siglo xvi hizo bastante más significativa e importante esta pregunta.

El del escepticismo era uno de los temas centrales de **la cultura europea del Renacimiento tardío**, y era también un tema de fondo en toda la discusión filosófica acerca de la naturaleza del conocimiento científico, la cual examinaremos en esta parte del libro. El escepticismo es una actitud crítica, **articulada** en una serie de patrones de argumentación, más que en elaboradas doctrinas, que cuestiona la confiabilidad del conocimiento en general o la confiabilidad de cierto tipo de conocimiento religioso, científico o moral. Inicialmente, el escepticismo aparece de nuevo en la **cultura** renacentista como un arma poderosa utilizada por los diferentes bandos que surgen del cisma de la Iglesia romana. **Lutero**, por ejemplo, cuestionaba el criterio tradicional de la Iglesia para decidir cuestiones religiosas (la autoridad de la jerarquía eclesiástica y, en última instancia, la del papa) utilizando argumentos escépticos.

Un argumento escéptico por excelencia es el que se dirige a nuestra pretensión de tener conocimiento de aquello que no podemos decidir sobre la base de la observación aquí y ahora, o por lo menos sobre la base de posibles observaciones. Sexto Empírico, uno de los grandes filósofos escépticos (vivió entre los siglos ii y iii de nuestra era), cuestionó, mediante una serie de argumentos que **fueron** retomados en el siglo xvi, la pretensión de la filosofía dogmática de alcanzar el conocimiento, por medios naturales (**excluyendo**, por ejemplo, medios no naturales como la revelación), de lo que no es accesible a nuestros sentidos. Un criterio de inferencia **lógico**, o un criterio que presuma un nexo causal, o cualquier otro criterio que podamos utilizar para juzgar acerca de lo que no es accesible a la observación, puede cuestionarse si nos preguntamos acerca de la base **que** tenemos para aceptarlo.

Una posible respuesta, bastante común hasta el siglo xvii, consistió en establecer la autoevidencia de los principios. Pero si bien esto funcionaba hasta cierto punto en la matemática, resultaba en cambio muy dudoso **determinar** cómo podía llegarse a este tipo de solución en las ciencias empíricas. Los principios empíricos podían hacerse evidentes de manera similar a la de los axiomas matemáticos, en el caso de que todo el mundo estuviera de acuerdo en su verdad; pero esto no sucedía. Sobre todo en el siglo xvii, la proliferación de diferentes concepciones del conocimiento científico, las disputas entre los **se-**

guidores de Paracelso y los de Galeno, entre los seguidores de **Kepler** y los de Ptolomeo, entre los hermetistas y los filósofos matemáticos, entre los magos y los alquimistas, etcétera, hacían que una solución de este tipo fuera poco creíble.

Montaigne, en la *Apología* de Raimundo Sabunde, en 1580 escribe que:

Quando se nos presenta otra doctrina novedosa tenemos ocasión para desconfiar y para pensar que antes de que esta teoría surgiera, su contrario estaba en boga; y así como ella fue abandonada en favor de otra, una nueva invención puede surgir en el futuro que nos haga rechazar de la misma manera ésta que ahora aceptamos.³

Ea llamada matemática mixta, el tipo de ciencia empírica formulada por medios matemáticos que responde al tipo de consideraciones externadas por Clavius, aspiraba a una fundamentación diferente. En lugar de pretender fundamentar la ciencia en la búsqueda de principios autoevidentes, intentaba más bien fundamentar una ciencia empírica sobre la base de principios empíricos formulados cuantitativamente.

Un ejemplo de este tipo de fundamentación, considerado paradigmático por esta tradición (que cuenta a Galileo entre sus más preclaros exponentes), lo proporciona el trabajo de Arquímedes, uno de los grandes exponentes de la ciencia griega en el periodo helenístico (vivió entre los siglos III y II a.C.). El primer postulado de "Sobre el equilibrio de planos", uno de los trabajos más famosos de Arquímedes, dice que "pesos iguales a distancias iguales están en equilibrio, y pesos iguales a distancias desiguales no están en equilibrio, pero se inclinan hacia el peso que está a la mayor distancia". Este tipo de principios puede entenderse como una mera reformulación cuantitativa de los fenómenos, y en ese sentido como un principio que no necesita más fundamentación que nuestra experiencia de esos fenómenos. Hablaremos un poco más sobre este tema en el siguiente capítulo.

En todo caso, está claro que la falta de certeza en los principios, así como la falta de fundamentación filosófica de la nueva ciencia, era una preocupación central de **la filosofía** del siglo XVII. Descartes expresó el sentir general de sus contemporáneos al atribuir la lentitud y la incoherencia del desarrollo de las ciencias precisamente al problema de la falta de claridad acerca de los fundamentos.

Hay dos grandes corrientes o tradiciones científicas que pueden distinguirse en la ciencia del siglo XVII, mediante las cuales se formula una respuesta al

desafío escéptico en los fundamentos de la ciencia. Una corriente parte de la importancia de la observación sistemática en la construcción del conocimiento, y la otra trata de articular la idea de que es posible tener conocimiento cierto e indubitable acerca del mundo empírico por medio de las matemáticas. Estas corrientes, como vimos en el capítulo anterior, se encuentran también en la ciencia griega. No es casual que fueran los médicos y los experimentalistas quienes favorecieron la primera estrategia, y que fueran los matemáticos los que favorecieron la segunda. Los fisiólogos, embriólogos e historiadores naturales fundamentaban la ciencia (y su progreso) en la experiencia sensorial cuidadosamente controlada, en contra de las pretensiones de una ciencia que partía de la interpretación o la lectura de una verdad en los textos clásicos. Por otro lado, la filosofía mecanicista, y en particular la nueva física del siglo XVII, tomó como su punto de partida el supuesto de que el testimonio de los sentidos y la evidencia proporcionada por la experiencia ordinaria eran inherentemente engañosos. La verdad de las ciencias estaba o podía encontrarse sólo detrás de la experiencia sensorial.

Harvey y Galileo son dos representantes de estas dos tradiciones. Harvey arguye en favor de la circulación de la sangre a partir de observaciones cuidadosas, y en su dedicatoria de *De Motu Cordis* señala que:

Porque los verdaderos filósofos que se hallan inflamados del amor a la verdad y a la ciencia nunca se consideran tan llenos de sapiencia, o tan abundantes en ideas propias, que no estén dispuestos a ceder ante las verdades nuevas sin importarles de quién o de dónde puedan venir; [...] los crédulos y los frívolos admiten y dan crédito a todo al primer golpe de vista, y de tal modo llegan a dejar de percibir lo que se manifiesta a los sentidos y de reconocer la luz meridiana, que bien podría tenerseles por estúpidos e insensatos. Los verdaderos filósofos son los que en las aulas nos enseñan a desechar por igual las fábulas de los poetas, las fantasías del vulgo y las falsas conclusiones de los escépticos. (Harvey 1994, pp. 98–99)

Galileo, en cambio, aboga por la nueva ciencia a partir del reconocimiento de lo **engañoso** que son los datos sensoriales. Para Galileo, el conocimiento que los seres humanos pueden obtener por medio de la matemática es como una **pequeña** ventana al conocimiento característico de Dios. La tensión entre estas dos maneras de responder al desafío escéptico sigue manteniéndose hasta nuestros días.

³*Apología de Raimundo Sabunde*, Michel de Montaigne, Madrid, SARPE, 1984. En esta versión el pasaje citado aparece en la página 180; aunque la traducción que aquí ofrezco es mía. Hay otras ediciones en castellano,

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

En relación con la nueva educación humanista de los ingenieros en el Renacimiento, y de la importancia de esto en la construcción y mejoramiento de las máquinas, véase el libro de Eugene S. Ferguson, *Engineering and the Mind's Eye*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1993 (especialmente los capítulos 3, 4 y 5). Respecto a la organización profesional y al estatus de los físicos y matemáticos en el Renacimiento (especialmente el caso de Galileo), véase el libro de Mario Biagioli, *Galileo Courtier. The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago, Ill., The University of Chicago Press, 1993. El libro de Peter Dear, *Discipline and Experience*, Chicago, The University of Chicago Press 1995, elabora una explicación de cómo diferentes conceptos de experiencia surgen y lentamente convergen a lo largo de los siglos XVI y XVII hasta estabilizarse en el concepto de experiencia que generalmente asociamos con la base de "la revolución científica". También en el capítulo II del libro de A.C. Crombie, *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo 2*, Madrid, Alianza Universidad, 1985, se encuentra documentada la tensión entre las dos corrientes de las que hemos hablado en este capítulo. El libro de G. Freudenthal, *Atom und Individuum im Zeitalter Newtons*, Suhrkamp, 1982 (del cual hay traducción al inglés), es una buena fuente sobre la metáfora de la máquina en el desarrollo de la ciencia y la filosofía modernas. Respecto a la historia del concepto de mecanismo en los filósofos matemáticos del siglo XVII se puede consultar el libro de Paolo Casini, *El universo máquina*, Barcelona, Martínez Roca.

Hay una versión del texto de Harvey en castellano: William Harvey, *Del movimiento del corazón y de la sangre de los animales*, introd. y trad. de José Joaquín Izquierdo, México, UNAM, 1994.

3

LA FILOSOFÍA MATEMÁTICA:
DESCARTES, GALILEO Y NEWTON

En este capítulo examinaremos la tensión alrededor de la cual se plantean muchos de los problemas de la fundamentación de la ciencia y de la epistemología en el siglo XVII. La tensión en cuestión es resultado, por un lado, del reconocimiento del experimento como fuente válida de conocimiento y, por otro, de la aceptación de cierta concepción de lo que es el conocimiento. Según esta concepción heredada de la tradición teórico-especulativa de la ciencia griega, el conocimiento es conocimiento por demostración a partir de primeros principios, y por lo tanto es cierto o absoluto. El siglo XVII verá nacer la construcción de la ciencia moderna todavía profundamente influido por esta idea de conocimiento. Como veremos, esta tensión planteó problemas serios a Descartes, Galileo y Newton.

En principio se plantearon dos alternativas para resolver esta tensión. Una, la que Descartes y en buena medida Galileo y Newton exploraron, consistente en relajar el concepto de demostración de manera tal que permitiera inferir, del conocimiento de los efectos que dan los experimentos, conocimiento cierto de las causas. La otra alternativa consistiría en abandonar el requisito de que para que sea científico, el conocimiento tiene que ser demostrativo, cierto o absoluto, esto es, *episteme* en el sentido de Aristóteles. Esta segunda alternativa sólo empezó a articularse filosóficamente por medio del desarrollo del concepto de probabilidad, implícito en una serie de aplicaciones de éste en diferentes áreas de la ciencia y en la filosofía empirista de Locke y, sobre todo, de Hume. Al respecto hablaremos en el capítulo 5. En cierta medida, los ecos de esta tensión siguen siendo un aspecto importante de muchas discusiones en la filosofía de la ciencia hasta el presente. De manera muy limitada abordaremos este tema en la parte III.

§ 1. EL PROBLEMA DE LA INFERENCIA DE EFECTOS A CAUSAS EN DESCARTES

En *El mundo, o tratado de la luz*, René Descartes principia expresando su deseo de que quede claro lo siguiente:

puede haber una diferencia entre nuestra sensación de la luz (i.e., la idea que se forma en nuestra imaginación a través de la mediación de nuestros ojos) y lo que está en los objetos que produce esa sensación en nosotros (i.e., lo que está en la flama o en el sol llamado "luz") [...] si las palabras, que no significan nada fuera de las convenciones humanas, son suficientes para causarnos la concepción de cosas a las que no se parecen, ¿por qué no podría la naturaleza haber establecido cierto signo que causara la sensación de la luz, aun cuando este signo por sí mismo no tuviera similitud con la sensación?

Esta idea de la falta de similitud entre lo representado y la representación — es decir, entre la causa del concepto y el concepto mismo — es una idea central en la ciencia y la filosofía modernas, que se consolida como un punto de apoyo de la concepción predominante de la ciencia y la filosofía del siglo XVII. Nótese que esta manera de entender el papel de la cognición en el conocimiento supone el rechazo de la concepción tradicional del conocimiento que se basa en principios accesibles para la percepción sensorial.

La idea de la falta de similitud de la causa y el efecto está relacionada con otros dos aspectos centrales de la filosofía de Descartes. Por un lado, con el reconocimiento de que sólo en la dimensión matemática de los cuerpos podemos obtener conocimiento perfecto del mundo material. Esta dimensión **matemática** es resultado directo del supuesto cartesiano de que todo cuerpo es esencialmente extenso. Pero entonces, está claro que la causa de la sensación o idea de luz es algo que puede expresarse matemáticamente, en términos de las leyes del movimiento, y que esta causa no se parece en nada a nuestra sensación de la luz. Nuestras sensaciones o ideas no se **formulan** naturalmente en términos matemáticos. Por otro lado, esta idea de la **falta** de similitud entre la causa y el efecto se relaciona con el hecho de que Descartes quiso pensar que las diferentes explicaciones mecanicistas pueden jerarquizarse en explicaciones de diferente nivel de generalidad. En la filosofía mecanicista tradicional, las diferentes explicaciones de los fenómenos se diseñaban para cada fenómeno en particular y no había un intento por sistematizarlas en un patrón de explicación. Más aún, la aceptación de la concepción tradicional escolástica de causa hacia **implausible** tal proyecto; las explicaciones mecanicistas podrían estar emparentadas sólo en los casos en los que los fenómenos generaran sensaciones similares, pero no sería **pensable** tratar de dar una explicación esencialmente similar en el caso del calor del fuego y de la luz, por ejemplo.

En *El tratado del hombre*, Descartes presenta una serie de explicaciones de diferentes procesos fisiológicos como la respiración, la sensación, la actividad nerviosa, la acción refleja, etc. Todas estas explicaciones se construyen a partir de la idea básica de la circulación de la sangre. Este **último** es un mecanismo integrador de las demás explicaciones y, según Descartes, es una explicación más fundamental. En la medida en que algunas de esas explicaciones empiezan a pensarse como algo más o menos fundamental, también se comienza a pensar que pueden integrarse en otras explicaciones más generales. En última instancia, todas las explicaciones pueden reducirse al mismo tipo de procesos, los procesos mecánicos entre los corpúsculos elementales regidos por las leyes básicas del movimiento. Esta idea implícita en Descartes, la idea de que las diferentes explicaciones mecanicistas pueden integrarse en un tipo de explicación fundamental, la explicación a partir de leyes, es una de las ideas más **fructíferas** del siglo XVII. **Galileo**, de manera independiente, desarrolló esta idea desde otra perspectiva. **Posteriormente Newton** integraría ambas perspectivas en su teoría de la física.

Para la filosofía mecanicista, y para Descartes en particular, la naturaleza de la realidad de la que trata la ciencia no es accesible a los sentidos. En última instancia, esa realidad está constituida por partículas muy pequeñas para ser observadas a simple vista, y por las leyes que rigen su movimiento. Como sugiere Descartes, sólo podemos conocer la naturaleza de esa realidad directamente por medio de intuiciones o ideas innatas que nos permiten saber acerca de esa realidad por adelantado, por **así** decirlo, o indirectamente, por medio de la coexistencia de propiedades o la percepción de regularidades. Descartes no tenía suficientemente claro **cómo** la última opción **podía** ser una fuente de conocimiento, y ello es **algo** que sólo se plantea claramente en el *Tratado del entendimiento humano*, de Locke, en la segunda mitad del siglo XVII.

En la medida en que, como en la tradición **aristotélica**, tenemos el recurso de ciertas analogías entre los efectos y las causas, **así** como una ontología mucho más rica de formas, el **problema** de conocer principios generales a partir de experiencias particulares y, **por** lo tanto, el problema de conocer las causas a partir de una experiencia de los efectos, aunque difícil, no es un problema serio. Las conexiones ya están dadas antes de nuestra experiencia, y nosotros simplemente detectamos la conexión correcta entre lo particular y lo general en una situación dada. Para **Aristóteles** y la tradición escolástica, el problema más bien provenía del supuesto de que ese conocimiento debía expresarse como una demostración.

Sin embargo, en la tradición mecanicista expresada tan **claramente** por Descartes en la cita anterior, el problema de pasar de los efectos a las causas es bastante más difícil de resolver de una manera **epistemológicamente satisfacto-**

ria. En este capítulo mostraremos por qué, en el marco de la **filosofía mecanicista**, y en la de Descartes en particular, el problema de pasar de los efectos a las causas es el problema central de la epistemología, y cómo Descartes trató **infructuosamente** de **resolverlo**. Veremos después cómo otros autores del siglo XVII enfocaron este mismo **problema**.

Descartes intentó resolver el **problema** recurriendo a cierta concepción de la demostración que, sobre todo en el siglo XVI, buscaba defender la idea de que, por lo menos en ciertos casos importantes, si es posible pasar de los efectos a las causas. Este patrón de demostración (explicación sería más apropiado para el uso contemporáneo) está emparentado, en mayor o menor grado, con el tipo de demostración "por conversión del **efecto**" que introdujimos al final del capítulo I cuando hablamos de explicaciones por causas próximas en Aristóteles. En el siglo XVI se desarrollaron una serie de teorías de la demostración inspiradas en esta idea, las cuales se conocen colectivamente como teorías del tipo *regressus*.¹

Descartes introdujo una distinción **clara** entre la ciencia deductivista de la mecánica y la física. La mecánica, según él, se basa en leyes que se derivan de verdades absolutas de la metafísica, **leyes** que describen el resultado de toda posible colisión entre los corpúsculos materiales que componen todo los cuerpos. La física, en cambio, es la ciencia que trata, según Descartes, de la **configuración detallada** de los cuerpos. Ea mecánica es una ciencia deductivista, puesto que de sus principios podemos derivar explicaciones de fenómenos particulares; sus leyes nos permiten razonar de las causas a los efectos. La física, por el contrario es especulativa, consiste en razonamientos que van de los efectos a las causas. Por ello no se puede, por lo general, pretender encontrar demostraciones (en el sentido estricto) en la física. Pero, o señalamos con claridad cómo pasamos demostrativamente (en el sentido estricto) de efectos a causas, o bien tenemos que conceder que no somos capaces de tener conocimiento cierto del mundo físico.

Ahora bien, Descartes reconoce que la gran mayoría de los fenómenos tienen más de una causa posible, y que basta con encontrar una causa suficiente del fenómeno, aunque no sea la causa verdadera, para hacer plausible un pro-

¹ La teoría del *regressus* se originó en algunos de los pasajes más comentados de los *Analíticos segundos* de Aristóteles de los que brevemente hablamos en el primer capítulo. En ese trabajo, Aristóteles distingue dos tipos de conocimiento: conocimiento cierto o absoluto (*episteme*) y por accidente (*kata sumbebekos*). Para los autores del siglo XVI que desarrollaron este tipo de explicación (por lo menos, según ellos, siguiendo a Aristóteles), el conocimiento de un efecto puede ser por accidente o cierto.

El conocimiento de un efecto es por accidente si es el resultado de una ocurrencia observada. El conocimiento de un efecto es cierto o absoluto si el conocimiento de su ocurrencia nos permite *convertir* el efecto en su causa próxima y primaria.

yecto mecanicista. Esto, sin embargo, no es suficiente para fundamentar el conocimiento de manera que se adecue al ideal de demostración estricto y que responda al escéptico. El hecho de que un mecanismo en particular sea una causa posible de un fenómeno no puede considerarse conocimiento, y esto es todo lo que el escéptico requeriría para sostener su posición. Más aún, la integración jerárquica de las distintas explicaciones de los fenómenos que, como vimos, era parte del proyecto cartesiano, no parece muy convincente si las causas aducidas para cada uno de los fenómenos no fueran las verdaderas. La pretensión de unificar la ciencia por medio de mecanismos sería, pues, incierta.

Para Descartes esto era un callejón sin salida: o bien encontraba la manera de explicar cómo era posible pasar demostrativamente de efectos a causas, o tenía que abandonar su pretensión de responder al escéptico en cuestiones relativas a la física. Frente a esta alternativa, Descartes se inclinó por relajar el concepto de demostración. Hay dos maneras como puede entenderse esta estrategia de Descartes. Es posible interpretar que Descartes sugería que la noción de demostración que se requiere para poder explicar el sentido en el que es posible pasar de los efectos a las causas es una versión del concepto de demostración defendido en teorías del tipo *regressus*, no el tipo de demostración geométrica o aritmética al que la matemática nos ha **acostumbrado**.² La otra manera es interpretar a Descartes pensando en que sugirió un novedoso concepto de "prueba". Veamos.

En una carta, Descartes dijo a Mersenne que "si **sólo** las pruebas de los géometra debieran **llamarse** demostraciones, entonces Arquímedes nunca habría demostrado nada en **mecánica**".³ Este comentario de Descartes es iluminador. En primer lugar sugiere que estaba al tanto de la tradición de explicación tipo *regressus* o, en todo caso, que coincidía con ellos al reconocer la importancia del trabajo de Arquímedes como paradigma de cierto tipo de demostración de los efectos a las causas.

Para entender la pertinencia del comentario de Descartes en el problema en cuestión es necesario decir algo respecto al trabajo de Arquímedes y por qué desempeñó un **papel** importante entre los teóricos del *regressus*. Haré esto examinando un ejemplo; la teoría de la **hidrostática** de Arquímedes se basa en el principio siguiente: un cuerpo sólido sumergido en un **líquido** es empujado ha-

² No quiero dar por sentado que Descartes simplemente se haya basado en alguna versión de esa teoría de la demostración. No sé si Descartes conocía los trabajos de Zabarella (o de alguno de los otros filósofos que defendían este tipo de teoría de la demostración); lo que si me parece muy convincente es que Descartes estaba al tanto de la discusión generada alrededor de las teorías tipo *regressus*, una discusión muy importante en el ambiente intelectual jesuita en el que Descartes se educó y con el que se relacionaba.

³ La cita es de la carta a Mersenne del 27 de mayo de 1638, AT II, pp. 141-142.

cia arriba con una fuerza que es igual al peso del volumen del líquido desalojado. El principio de Arquímedes nos permite inferir la causa (es decir, la fuerza) a partir de su efecto, a saber, el volumen del líquido desalojado, el cual es directamente observable y **manipulable**.

Nótese, y éste es el punto importante hacia donde apunta el comentario de Descartes a Mersenne, que si bien en el principio de Arquímedes se habla de una fuerza, esta referencia no es problemática epistemológicamente. Por lo menos no es problemática en la medida en que lo importante para entender el principio de Arquímedes es que, independientemente de la naturaleza de la fuerza, ésta es "convertible", *i.e.* traducible a algo observable (en el proceso de la manipulación de un sistema mecánico), que es el volumen del líquido **desalojado**. Este proceso de "conversión" de efectos a causas (por lo menos en el sentido anterior) es indudablemente sugerente. Pero dejando de lado los problemas que puede haber respecto al sentido preciso de la convertibilidad en cuestión, se corre el riesgo de cometer un error que todos los proponentes de explicaciones tipo *regressus* parecen haber cometido: pensar que este tipo de convertibilidad de los efectos a las **causas** es **generalizable**.⁴

La hipótesis **cartesiana** de que **la** luz consiste en la vibración de partículas en un medio sutil es, por ejemplo, muy diferente de la hipótesis de que un cuerpo suspendido en un líquido recibe un empuje igual al peso del volumen **desalojado**. En el fondo, la diferencia en estos dos casos es que si bien podemos manipular el sólido y el líquido, y explicar a través de esa interacción las posibles divergencias de lo observado, no podemos manipular de esta manera las vibraciones de las partículas que supuestamente constituyen **la** luz, puesto que se postulan precisamente como entes no **observables**, y por lo tanto, no podemos utilizar el mismo tipo de explicación para el fenómeno de **la** luz.

No está claro que la diferencia entre aquellos casos en los que la **convertibilidad** del efecto es una estrategia explicativa plausible y aquellos en los que no lo es, sea siempre **formulable** en **términos** de manipulación. En todo caso, esto es suficiente para ver que, incluso si Descartes y toda la tradición de **regresionistas** estuviesen en lo correcto en el **análisis** de algunos casos, éstos no son **generalizables** a muchas explicaciones importantes. El de la naturaleza de la luz muestra que, incluso en la física de Descartes, esta estrategia sólo puede tener un alcance muy limitado.

En esta medida, Descartes no ofrece una respuesta para el escéptico. El patrón de explicación por inferencia tipo *regressus* permite tener conocimiento de

⁴ De ahora en adelante voy a hablar de explicaciones y no de demostraciones tipo *regressus*, porque me parece que esta terminología es más apropiada para nuestra manera de entender esas teorías en el contexto que nos interesa en este libro.

las causas a partir de los efectos, pero es importante notar que de esta manera se adopta una ontología **en** la que las causas próximas están en una correspondencia uno a uno con sus efectos propios (lo que **permite** la "conversión"). No es éste un patrón de explicación flexible que permita, por ejemplo, explicar diferentes efectos como el resultado de una única causa, o un efecto dado como el resultado de varias causas, algo que parece ser un requisito para un patrón de explicación en la **física** y otras ciencias empíricas. Finalmente, si bien es verdad que Descartes está en lo correcto cuando dice que si el patrón de demostración aceptable en la ciencia es el de **la matemática**, entonces no podríamos justificar casi nada del conocimiento científico, la idea **intuitiva** de Descartes no puede sustentarse en la supuesta convertibilidad del efecto.

Para Descartes, la formulación de un argumento de este tipo era un **problema** particularmente apremiante. Los escolásticos podían recurrir a una concepción de la ciencia mucho más rica y compleja que la suya, y en particular a una ontología de formas y sustancias que hacían plausibles explicaciones alternativas y permitían, por lo menos, pensar en la posibilidad de que hubiera explicaciones por conversión del efecto. En cambio, para **él**, la dificultad de demostrar el paso de los efectos a las causas amenazaba todo su programa. Como veremos en la siguiente sección, **Galileo** también aceptó versiones del patrón de explicación tipo *regressus* en muchas de sus obras, y sólo al final de su vida parece haber **llegado** a la conclusión de que este tipo de razonamiento era circular o, en todo caso, **muy** problemático.

La segunda manera de interpretar los intentos de Descartes por relajar el concepto de demostración es algo que Descartes también sugiere, y que me parece es una mejor manera de entender su **posición**.⁵ En el *Discurso del método*, Descartes advierte al lector que no debería sorprenderse de que **él** llame "suposiciones" a algunos de los enunciados que hace al principio de la óptica y la geometría—un uso que puede sugerir algo incorrecto—que Descartes no se iba a preocupar de probar. Descartes pretendía ofrecer una prueba de ellos, sin embargo, según **él**, para encontrar esa prueba, el lector tendrá que leer el libro **atentamente**:

Pues yo considero **que mis** razonamientos **están** tan íntimamente interconectados que **así** como los **últimos** se **prueban** por los primeros, **que** son las causas, así los primeros se **prueban** por los últimos, **que son** los efectos. (AT VI, p. 76)

⁵ Esta lectura de la posición de Descartes permite ver una conexión entre este concepto de demostración debilitado de Descartes y el concepto de "deducción de los fenómenos" de Newton, y por lo tanto un nexo con el programa metodológico de "las causas verdaderas" que examinaremos en capítulos posteriores.

Descartes inmediatamente trata de curarse en salud advirtiéndole al lector que no **está** argumentando en círculos, ya que:

Puesto que la experiencia hace bastante cierta la mayor parte de esos efectos, las causas de las que los deduzco sirven no tanto para probarlos, sino para explicarlos; muy por el contrario, son **las** causas las que son probadas por los efectos. Y las he llamado "suposiciones" **simplemente** para indicar que puedo deducirlas de las verdades primarias que he expuesto antes; pero deliberadamente he evitado presentar esas deducciones para prevenir que ciertas personas ingeniosas tomen la oportunidad para construir, a partir de lo que ellos creen que son mis principios, una filosofía extravagante por la que yo sería culpado. Estas personas piensan que pueden aprender en un **solo día**, después de que oyen dos o tres palabras, algo que a otra persona le ha **llevado** veinte años pensar. (AT VI, p. 76)

He aquí el Descartes científico, que piensa que la ciencia no puede reducirse a las demostraciones en el sentido estricto (*i.e.* a **explicaciones**, tal y como ese término se usaba en el siglo XVII).

La advertencia de Descartes no sirvió de mucho. En una carta, Morin, uno de sus ilustres interlocutores, lo acusa precisamente de argumentar en círculos en tanto que pretende probar los efectos a partir de las causas, para luego probar la causa por los mismos efectos. Ciertamente, le responde Descartes, "esto es argumentar en círculos:

Estoy de acuerdo: pero no estoy de acuerdo en que es circular **explicar** unos efectos por una causa, y después **probar** esa causa por los efectos. **Porque** hay una gran **diferencia entre** probar y explicar. Debería agregar que la palabra "demostrar" puede usarse para designar cualquiera de los dos, si se usa de acuerdo con el lenguaje común y **no en** el sentido técnico filosófico. Debería agregar **también** que no hay nada circular en probar una causa por varios efectos que son independientemente conocidos, y luego probar otros efectos a partir de esa misma causa. (AT II, p. 197, las cursivas son mías.)

A continuación Descartes menciona el párrafo del **Discurso** que citamos antes para poner énfasis en la distinción que **está** introduciendo y en el sentido en que **está** usando el concepto de prueba cuando **dice** que las causas se prueban a partir de los efectos. Un poco **más** adelante en la misma carta dice Descartes:

Tarta de Descartes a Morin del 13 de julio de 1638. AT II, p. 197.

⁷ Carta a Morin del 13 de julio de 1638. AT II, p. 200. Algo similar le escribió Descartes a Plempius en una carta de octubre de 1637 (AT I, p. 423).

Finalmente, usted dice que no hay nada más fácil que hacer encajar una causa en un efecto. Es cierto que hay muchos efectos en los que es **fácil** hacer encajar muchas causas separadas; pero no es siempre **tan** fácil hacer encajar una única causa en muchos efectos, a **menos que sea la causa verdadera que los produce a todos ellos**. (AT II, p. 200, las cursivas son mías.)

En mi opinión, Descartes es bastante claro: **es posible probar causas a partir de los efectos, pero esto no es algo que pueda hacerse en pocas palabras**. Me parece que lo que Descartes está **señalando** es que la prueba de causas a **partir** de los efectos (lo que en nuestro sentido, no en el de Descartes, nos **permitiría** formular una explicación) requiere un complejo entramado de razonamientos en los que la construcción de invenciones mecánicas forma parte de la prueba. **Descartes** no formuló la idea de esta manera, el concepto tradicional de ciencia era un obstáculo para tal **formulación**. Pero me parece que su intención es clara. Las dificultades que plantea el concepto tradicional de ciencia no se limitan a Descartes. Como veremos en la siguiente sección, este tipo de dificultades es también importante en Galileo.

§ 2. EL PROBLEMA DE GALILEO

En 1632 (el año de la publicación de *El diálogo sobre dos nuevas ciencias*), Galileo estaba **enfrascado** en una disputa con las autoridades eclesásticas. Unos años antes **había** sugerido que el modelo astronómico de Copérnico, que **ponía** al Sol en el centro del sistema planetario y a la Tierra a girar a su alrededor, podía demostrarse con certeza. Galileo consideraba haber demostrado que las mareas sólo tenían una causa posible, el movimiento de la Tierra, y por lo tanto, **podíamos** inferir, en un típico argumento del tipo **regressus**, que la Tierra se movía (véase la nota 1). Vuelve a repetir este argumento de manera **ligeramente** velada en el cuarto día de *El diálogo*; en diferentes ocasiones se le había dicho a Galileo que se restringiera a tratar su teoría como una mera hipótesis, sin pretender que fuera demostrable. Después de todo, **el** tipo de evidencia que Galileo tenía en favor de esa hipótesis era evidencia de efectos, y tradicionalmente eso sólo permitía un tipo de conocimiento razonable, pero no lo que se consideraba conocimiento científico o conocimiento cierto, esto es, el tipo de conocimiento que nos permite una demostración (en el sentido estricto).

Sin embargo, Galileo **realmente** pensaba que su teoría era demostrable y no hizo nada por ocultar esta idea. Por supuesto, esto lo puso en mayores dificultades con la Iglesia, pero lo que nos interesa aquí no es esa disputa, sino ver cómo Galileo justificaba esta inferencia, con pretensiones de certeza, de un efecto (las

mareas) a la causa (el movimiento de la Tierra). La respuesta de Galileo es **ciertamente** ingenua; él da por sentado que un efecto dado tiene una y sólo una causa "primaria y verdadera". Utilizando este principio, e identificando el movimiento de la Tierra como **la** causa primera, pudo derivar fácilmente la causa del efecto. No obstante, **resulta** irónico que **Galileo** se haya metido en tantos problemas con la Iglesia debido a su pretensión dogmática de haber localizado la única y verdadera causa de las mareas. Entre sus **contemporáneos** (como en la actualidad) se consideraba verosímil que las mareas se debieran a la atracción de la Luna, una hipótesis que Galileo simplemente ignoró.

El problema de Galileo, desde un punto de vista metodológico, es el mismo que le dio dolores de cabeza a Descartes. Por un lado, tanto Descartes como Galileo sólo concebían como conocimiento el que tiene la certeza de una demostración; por otro lado, no **veían** la diferencia profunda que existe entre dos tipos de teorías, en uno de los cuales es posible tener conocimiento indubitable en tanto que los entes postulados son "**convertibles a lo observable**", mientras que en el otro esto no es **posible** (algo que mostramos en la sección anterior). En la siguiente sección (§3) veremos cómo se formula una versión de ese concepto de demostración (no estricto) de efectos a causas que ya recurre al supuesto de una estructura matemática de la realidad, pero que obliga también a hacer una distinción entre "causas" y "leyes".

§ 3. EL EXPERIMENTO DEL PRISMA DE NEWTON

El punto culminante de la ciencia del siglo XVII se encuentra en las teorías de **Isaac Newton**. En Newton culmina **también**, sin resolverse del todo, la tensión entre el concepto tradicional de conocimiento como cierto, absoluto o demostrable, y la manera de hacer ciencia alrededor del experimento, **tal** y como **Galileo**, **Boyle** y **Newton** lo estaban proponiendo. Examinemos con cierto cuidado el primer trabajo publicado por Newton, aparecido en 1672 con el título "Una nueva teoría de la luz y los colores".

El trabajo de Newton parte de observaciones conocidas por siglos. Si observamos un objeto blanco a través de un prisma triangular, vemos las orillas con los colores del arco iris. Un rayo de **luz solar refractado** por un prisma, al incidir sobre una pantalla, produce todos los colores del arco iris. En ese tiempo muchos científicos estaban interesados en el perfeccionamiento del telescopio, en particular, en la eliminación de la aberración cromática, que dependía de **la forma** en la que las lentes habían sido fabricadas. Newton **señala** que, como parte de su interés **en** este problema, obtuvo un prisma triangular para efectuar experimentos con los fenómenos de los colores. Después de haber oscurecido

su cuarto y de hacer un pequeño orificio circular en una de **las** cubiertas de la ventana, puso el prisma cerca del orificio, de manera tal que la luz **refractada** pudiera observarse en la pared opuesta. Newton se manifestó sorprendido de la forma oblonga del espectro solar sobre la pared, porque **según** la formulación matemática de la ley de la refracción (formulada en 1637 por **Snell**) el espectro debería ser circular (véase **la** figura 1 y la descripción de Newton de este experimento). Esta afirmación de Newton es engañosa. En realidad es necesario hacer bastantes **cálculos** para poder derivar de la óptica geométrica (que incluye como una de sus leyes la de la refracción), la forma circular del espectro para la posición de desviación mínima que Newton había escogido. Lo que Newton describió como una observación casual era, en realidad, un experimento **cuidadosamente** diseñado a partir de la deducción de implicaciones de la teoría de la óptica.

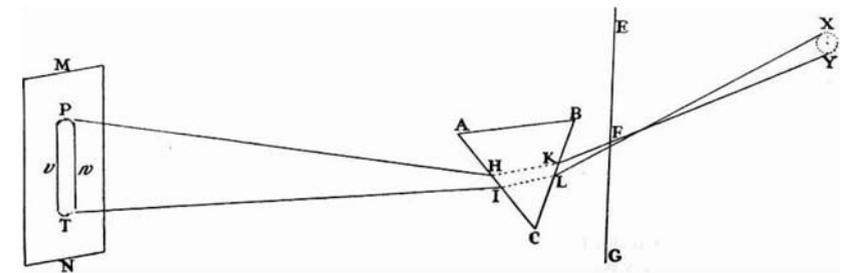


Figura 1

En la figura, EG es el postigo de la ventana, F es el agujero practicado allí por donde el haz de luz solar penetra en la habitación y ABC es un plano triangular imaginario que representa un corte transversal del prisma por donde pasa la luz; o, si se prefiere, ABC puede representar el prisma mismo, visto directamente por un extremo desde la posición del espectador. Sea XY el Sol, MN el papel sobre el que se proyecta la imagen del Sol o espectro y PT la imagen misma, cuyos lados son **rectilíneos** y paralelos a **v** y **w**, termina en semicírculos hacia P y T. **YKHP** y **XLIT** son dos rayos, el primero de los cuales **va** de la parte de abajo del Sol a la parte superior de la imagen, tras refractarse en el prisma en K y H, mientras que **el** segundo va de la parte alta del Sol a la parte inferior de la imagen, refractándose en L e I. Puesto que las refracciones de ambos lados del prisma son iguales entre si, esto es, **la refracción** en K es igual a la refracción en J y la que tiene **lugar** en L a la que tiene lugar en H, la suma de las dos **refracciones** de los rayos incidentes en K y L son iguales a la suma de los emergentes en H e I, se sigue que, como añadimos cosas iguales a cosas iguales, la suma de las refracciones en K y H son iguales a las refracciones

La sorpresa de Newton podría parecer artificial si tomáramos en serio el toque de casualidad que le imprimió a la descripción del experimento. Eran bastante conocidos los experimentos aparentemente similares, algunos de los cuales generaban, por lo menos, un espectro alargado como ocurría en el de Newton. Parecería, pues, poco apropiada la descripción que hizo Newton de su observación como "la detección más **extraña** que ha sido hecha hasta ahora en las operaciones de la naturaleza". No obstante, para Newton esta observación era muy importante, porque, según él, permitía derivar **apartir de los fenómenos mismos la causa del espectro observado**. Newton, como Descartes y Galileo antes que él, seguía pensando que el problema central del método científico era cómo inferir conocimiento de causas a partir del tipo de conocimiento que obtenemos a través de los experimentos, esto es, conocimiento de efectos. Este experimento fue muy importante para Newton porque permitía, según él, hacer precisamente eso, derivar del experimento la causa del espectro observado. Lo que Newton señala es precisamente lo que los proponentes del patrón de explicación *regressus* pretendían que era posible: establecer una relación uno a uno entre cierto efecto y su causa, de manera que el conocimiento del efecto nos permitiera inferir la causa con la certeza de una demostración, aunque no el tipo de demostración que ejemplifica de manera paradigmática la geometría. La idea implícita de Newton, y de otros promotores de este tipo de inferencia, es que es posible hacer una lista exhaustiva de las posibles causas, para **posteriormente** eliminar todas menos una.

Newton prosiguió su trabajo formulando las posibles causas de la forma del espectro observado. ¿Podría deberse la forma del espectro al grosor del prisma o al tamaño del orificio de la contraventana? Algunas modificaciones sencillas de las condiciones del experimento le hicieron ver que estas hipótesis no podían dar cuenta de la forma del espectro. A continuación Newton procedió a eliminar otras **hipótesis** por medio de una serie de cálculos que utilizan la teoría de la **óptica geométrica**. Más adelante, posiblemente pensando en Descartes, Newton puso a prueba la hipótesis de que los rayos de luz se muevan en líneas curvas después de salir del prisma, de manera análoga —dice Newton— a como una pelota de tenis golpeada con una raqueta oblicua describe una línea curva (debido al "efecto" que se le da a la pelota). Newton pudo descartar este tipo de hipótesis cartesiana con relativa facilidad, haciendo que la luz llegara a una pantalla a diferentes distancias del prisma, y mostrando que la variación en el tamaño de la imagen con la distancia es la que debería esperarse bajo el supuesto de que los rayos se propagan en **línea** recta después de la refracción.

Newton finalmente llegó a formular su experimento crucial. A la situación anterior en la que había un prisma cercano al orificio de la ventana, se agregó un segundo prisma (véase la figura 2 y la descripción de Newton). Los rayos que

salían del primer prisma pasaban por un pequeño agujero en una pantalla localizada inmediatamente después del primer prisma; a una distancia de unos 4 m se colocaba el segundo prisma, detrás de otra pantalla con un pequeño agujero que permitía que sólo una parte de la luz incidente atravesara el prisma. **Rotando** el primer prisma alrededor de su eje, Newton hacía que los diferentes colores que llegaban a la segunda pantalla pasaran por el agujero. De esta manera, Newton **podía** ver las diferentes posiciones en la pared, donde los diferentes colores se **refractaban** por el segundo prisma. El segundo prisma refractaba más

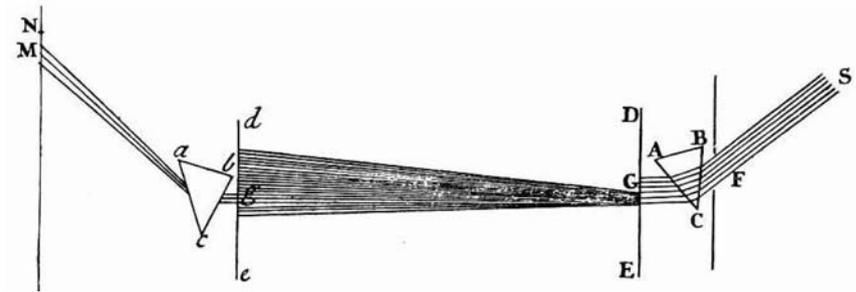


Figura 2

Sea F el agujero grande del postigo de la ventana, a través del cual brilla el Sol sobre el **primer** prisma ABC, y caiga la luz refractada sobre el centro del tablero DE. y la parte central de dicha luz, cae sobre el agujero G practicado en medio del tablero. Hagamos que esta parte de luz caiga de nuevo sobre la parte central del segundo tablero, de, de modo que se proyecte en él la imagen oblonga y de colores del Sol que se ha descrito en el primer experimento. Al girar lentamente hacia arriba y abajo el prisma ABC en torno a su eje, esta imagen se habrá de mover hacia arriba y hacia abajo del tablero de con lo que todas sus partes, de un extremo a otro, se verán obligadas a pasar sucesivamente por el agujero g que está en el centro del tablero. Entretanto, hay que fijar otro **prisma** abc, a fin de que **refracte** por segunda vez el haz de luz dirigida. Dispuestas así las cosas, marqué los lugares M y N de la pared opuesta sobre los que caía la luz **refractada** y hallé que mientras que los dos tableros y el segundo prisma permanecían inmóviles, dichos lugares cambiaban continuamente al mover el primer prisma en torno a su eje [...] La posición fija de los agujeros de los tableros, por otra parte, hacía que la incidencia de los rayos sobre el segundo prisma fuese en todos los casos la misma. Con todo, dada esa incidencia común, algunos de los rayos se **refractaban** más y otros menos. Además, los que se refractaban más en este prisma eran aquellos que **más** se desviaban por la refracción superior del primer prisma, por lo que, debido a la constancia con que eran más refractados, merecen la denominación de más **refrangibles**.

los colores inferiores de la imagen, proyectados en la segunda pantalla, que los superiores. De aquí Newton derivó su **conclusión**, mediante la cual justificó su afirmación de que este experimento era muy significativo para la filosofía (*i.e.*, la física). La verdadera causa de la longitud de la imagen detectada —señala Newton— es que la luz consiste en rayos de diferente refrangibilidad, los cuales, independientemente de sus diferencias en incidencia, se transmiten, de acuerdo con su grado de refrangibilidad, a diferentes partes de la pared.

Así, Newton interpretó que el experimento *demostraba* que *la luz consiste en rayos de diferente refrangibilidad que el prisma separa y dispersa según su grado de refrangibilidad*. Él consideró posible separar las proposiciones experimentales de la tarea de explicarlas a partir de hipótesis y señaló la necesidad de investigar las propiedades de la luz, independientemente de cualquier opinión acerca de su naturaleza (*i.e.*, independientemente de la manera como la luz se producía en el nivel corpuscular). *Newton estaba convencido de haber demostrado ciertas propiedades de la luz a partir de experimentos*, y esto lo llevó a formular su tesis **metodológica**, según la cual el método por excelencia de la ciencia consiste en la deducción de las propiedades de las cosas a partir de experimentos, no a partir de hipótesis. Una hipótesis, para Newton y sus contemporáneos, era una proposición que hace referencia a entes no observables. Una hipótesis, pues, era sólo **probable**, a diferencia de una **ley experimental** que era verdadera sin dejar lugar a dudas. Parece ser que Newton nunca abandonó la idea de que su tesis de la heterogeneidad de la luz blanca era uno de esos hechos establecidos experimentalmente sin ninguna duda, esto es, una proposición "deducida" a partir de los experimentos.

El trabajo de Newton en óptica, como en otras áreas de la física, es un esfuerzo sostenido por descubrir las leyes matemáticas que describen la estructura de los fenómenos. Siendo así, incluso si esta estructura fuera compatible con diferentes explicaciones en el nivel de la constitución última (corpuscular) de la materia, el conocimiento de esta estructura sería conocimiento cierto, y quizás el Único tipo de conocimiento cierto, fundamental, al que podemos aspirar los seres humanos. En el curso de la discusión generada por su artículo de 1672, Newton señaló precisamente esto, que incluso si una teoría de la luz, alternativa a la corpuscular, pudiera explicar los fenómenos, las propiedades de la luz en este caso, esto no cuestionaría el hecho por él establecido: la heterogeneidad de la luz blanca.

Newton **sugirió** así una distinción importante entre dos tipos de tesis **ontológicas** en las teorías científicas. Un tipo se refiere a la existencia de entes que se postulan para derivar, a través de un patrón de inferencias aceptado (que puede identificarse con lo que hoy día conocemos como el método hipotético deductivo), las propiedades de los fenómenos de la **experiencia**. Éste es el caso de la

hipótesis de Descartes acerca de la naturaleza de la luz como una vibración del éter, o de las explicaciones que Newton trató de dar durante cincuenta años, sin llegar a estar convencido de ninguna, respecto a la manera como se produce la gravedad en el nivel elemental, en el nivel de la interacción entre los corpúsculos materiales de los que está constituido nuestro mundo físico.

El otro tipo de tesis, en cambio, sostiene que podemos "deducir a partir de los fenómenos" la presencia de ciertas estructuras ontológicas, como la composición de la luz blanca por rayos de diferente refrangibilidad. *Estas estructuras ontológicas no son inferencias de efectos accidentales a causas, sino que, más bien, deben verse como reformulaciones de los fenómenos en un nivel matemático de descripción que nos permite el tipo de certeza que se requiere (según Newton) para tener conocimiento científico. Newton no piensa en "los rayos" como entes hipotéticos, sino como redescrpciones de los fenómenos en un marco matemático-conceptual que permite ver, a través de los fenómenos, su estructura física*, una estructura que no es cuestión de opinión, sino conocimiento cierto.

El experimento de Newton que hemos seguido con cierto detalle fue muy importante en la historia de la ciencia. Hasta la actualidad sigue discutiéndose el problema de qué fue exactamente lo que Newton descubrió y qué le atribuyó a la naturaleza a partir de una interpretación corpuscularista preconcebida. En el fondo, la pregunta que el experimento de Newton implícitamente plantea es la siguiente: **¿Hasta** qué punto es posible derivar de los experimentos conocimiento que no se puede derivar por el método de las hipótesis?

§ 4. LA DEDUCCIÓN A PARTIR DE LOS FENÓMENOS DE LA LEY DE LA GRAVEDAD

El ejemplo más espectacular e importante de una supuesta derivación de los fenómenos, para el desarrollo posterior de la ciencia, es la derivación de la ley de la gravitación universal que Newton llevó a cabo en su famoso tratado *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1686). Este ejemplo muestra con mucha mayor claridad el papel central que **desempeña** la conceptualización matemática en el planteamiento de una derivación, considerada como una "deducción a partir de los fenómenos". Como veremos, sin embargo, no queda claro que el sentido en que la ley de la gravedad se deriva de los fenómenos sea el mismo en que la estructura de la luz blanca se deriva de los fenómenos.

A grandes rasgos, Newton deriva la supuesta deducción de la ley de la **gravitación** universal de una serie de fenómenos, regularidades **ampliamente** conocidas en su tiempo, en particular las leyes de Kepler del movimiento planetario.

Esta deducción, sin embargo, es un largo y complejo proceso que **involucra** la prueba de una serie de proposiciones matemáticas.

En las primeras tres proposiciones de los *Principios matemáticos*, Newton **reformula las** regularidades astronómicas conocidas para satélites que giran alrededor de un planeta en términos de una **relación** entre la aceleración del satélite y su posición relativa al cuerpo central. La aceleración está siempre dirigida hacia el cuerpo central y su magnitud varía en proporción inversa al cuadrado de la distancia. En la proposición IV, Newton indica que la Luna gravita hacia la Tierra, y que debido a la fuerza de la gravedad ésta se separa continuamente de una trayectoria rectilínea y se mantiene en su órbita. **Aquí** la fuerza de la gravedad interviene como la causa que explica el movimiento de la Luna. Sin embargo, entender el sentido en el que la gravedad es una causa del movimiento orbital de la Luna, según Newton, requiere que profundicemos en la estructura conceptual de los *Principios matemáticos*.

Newton estableció por medio de una serie de cálculos y haciendo uso de la ley de la gravitación, cuál sería la aceleración de la Luna si ésta simplemente cayera (en caída libre) sobre la superficie de la Tierra. El resultado coincide con la ley para la aceleración de objetos en **caída** libre formulada previamente por **Galileo**. Por ello Newton concluyó que "la fuerza por la cual la Luna se mantiene en su órbita" es precisamente esa fuerza que llamamos "gravedad". Esta identificación de las dos fuerzas (y por lo tanto la identificación de la gravedad como la causa del movimiento orbital de la Luna) se basa en la caracterización que de ellas se hizo como casos particulares de fuerzas asociadas con una fuerza de campo central, es decir, que se dirige siempre hacia un mismo centro. La identificación de las dos fuerzas, la que actúa sobre los objetos cercanos a la **superficie** de la Tierra en caída libre, y la que mantiene a la Luna en su órbita depende, pues, de la suposición de que ambas son manifestaciones de un mismo campo de aceleración que tiene a la Tierra en el centro y que varía en relación inversa al cuadrado de la distancia que separa el centro de ambos cuerpos. **Podemos ver**, entonces, que la **reformulación** matemática inicial de los fenómenos (en las tres primeras proposiciones) **forma** parte de una estrategia sistemática dirigida a describir el movimiento (los fenómenos) en términos de fuerzas asociadas con un campo central (*i.e.*, con fuerzas que parten de un punto).

En la proposición V, Newton muestra que **también** podemos deducir a partir de los fenómenos (a partir de las regularidades astronómicas conocidas) que las lunas de Júpiter, las lunas de **Saturno** y los planetas alrededor del Sol "**gravitan**" o tienen peso con respecto a Júpiter, Saturno y el Sol, respectivamente. En la proposición VI, Newton generaliza este resultado a todos los cuerpos. Finalmente, la proposición VII establece la ley de la gravitación universal, la cual señala que la gravedad que se ejerce sobre todos los cuerpos es proporcional a

la cantidad de materia de cada uno (e **inversamente** proporcional a la distancia entre ellos).

La ley de la gravitación universal es uno de los grandes logros de la ciencia. Newton pretendía haber "deducido" esta ley a partir de los fenómenos. Un análisis cuidadoso de las premisas del **argumento** de Newton **revela**, sin embargo, que en todo caso esta "**deducción**" no es literalmente una deducción en el sentido con que se usa esa palabra en **lógica** y matemáticas. Newton, por ejemplo, supone que la gravedad es una fuerza que actúa independientemente en todas las partes del cuerpo, y que la tercera ley del movimiento, que dice que a toda acción corresponde una reacción, puede interpretarse del siguiente modo: que la gravitación es **una fuerza de interacción** (una fuerza que describe una acción entre dos cuerpos), caracterizada por una ley de interacción. Más en general, un aspecto constitutivo de la "deducción a partir de los fenómenos" de la ley de la gravitación universal, es cierto marco conceptual que se construye a partir de la reformulación matemática de los fenómenos. **La ley de la gravitación universal no es algo que simplemente preexista a la construcción matemática de Newton. Es algo que, mediante esa construcción, es posible localizar como una cierta relación estable entre los fenómenos gravitatorios y el movimiento de los planetas en particular.**

Tratar **de** reducir la compleja argumentación de Newton, que incluye todo el libro III de los *Principios matemáticos*, donde **se** examina y formula una serie de predicciones cuantitativas de fenómenos, a una mera inducción, es totalmente inaceptable. Comparar el proceso de inferencias que llevaron a **Newton** a la ley de la gravitación universal con una inferencia como la que nos lleva de la información de un número finito de observaciones ("hemos visto veinte cuervos negros") a una generalización ("todos los cuervos son negros") es menos apropiado que la de clasificar el razonamiento de Newton con el tipo de inferencia deductiva que tiene lugar en la matemática. La ley de la gravitación universal no es un salto **mortal** de un número finito de observaciones a la ley, sino una manera de describir los fenómenos en un marco conceptual matemático en el que tiene sentido decir, como lo hace Newton, que la gravedad es la **causa** que explica el comportamiento observado de los cuerpos celestes.

Si bien la gran mayoría de los grandes filósofos naturales contemporáneos de Newton, como Huygens y Leibniz, aceptaron rápidamente lo que consideraban un gran descubrimiento, esto es, la ley universal de la gravitación universal, no estaban dispuestos a aceptar la idea de que Newton **había** encontrado **la causa** de la gravitación. La discusión giraba precisamente en torno a la manera; como entendemos lo que es la **causa** de un fenómeno. Newton pensaba que **la gravitación podía** explicar los fenómenos aunque no supiéramos cómo se **originaba** en realidad, física o no físicamente, la gravedad. La cuestión es que esta

última pregunta podía no ser una pregunta **formulable** científicamente, mientras que en el sentido que Newton prefería, el problema de encontrar la causa de los fenómenos era el de encontrar un principio **físico** (que se suponía expresable **matemáticamente**) que explicara todos los fenómenos celestes. Cómo entender este principio físico, la ley de la gravitación universal, en términos de propiedades de corpúsculos, era **otro problema**, un problema que, según Newton, tal vez no tendría respuesta en la física.

Como vimos en el primer capítulo, en el Fedón, Sócrates dice que a través de los sentidos no es posible llegar a tener conocimiento verdadero, indubitable, de la naturaleza. Sócrates señala que la limitación de nuestras capacidades cognitivas hace imposible otra manera de llegar a tener conocimiento del mundo natural que no sea a través de nuestras **teorías más** exitosas. Debemos tomar éstas como verdaderas y utilizarlas como balsas para poder navegar en la vida. La idea es que, en tanto que las teorías logran **ayudarnos** a predecir y explicar los fenómenos, debemos aceptarlas como verdaderas. **Pero esto no es ciencia en el sentido tradicional, ni para Platón ni para Newton, sino sólo un sucedáneo apropiado para nuestra condición humana.** Desde Platón hasta Newton, pasando por Aristóteles y Descartes, la idea de que la ciencia era una búsqueda de conocimiento cierto, indubitable, fue parte misma de la definición de ciencia. Galileo y Newton trataron de justificar la posibilidad de tener conocimiento cierto de los fenómenos a través de las teorías, dando por hecho que los fenómenos tienen una estructura matemática accesible a nuestro conocimiento, y al parecer confundieron esta tesis con la idea de que es posible demostrar (en algún sentido relajado de demostración) a partir de los efectos. En el fondo, esta confusión descansa en una ambigüedad cuya resolución va a ser **crucial**, sobre todo en la epistemología empirista: la **distinción** entre "causas" y "leyes", de **la** que hablaremos en los siguientes capítulos.

§ 5. UNA COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES TIPOS DE EXPLICACIÓN

Tanto para Aristóteles, como para Descartes, una explicación científica consiste en una deducción a **partir** de primeros principios. En tanto que éstos se desconozcan y no se hayan deducido los fenómenos de la experiencia a partir de esos principios, no hay ciencia. En Aristóteles esos principios llegaban a ser **autoevidentes** para **el** investigador acucioso que se familiarizara con los métodos de investigación de un campo en particular. Los principios autoevidentes, que servían como punto de partida del conocimiento cierto en una disciplina, eran propios de esa disciplina. No había para Aristóteles, como si lo **había** para Descar-

tes, una estructura última del mundo regida por principios metafísicos de la que se seguían los principios particulares de cada una de las ciencias específicas.

Para Aristóteles, explicar consistía en encontrar los diferentes factores explicativos o causas que permitirían que lo que es mejor conocido por nosotros, la experiencia sensorial, coincidiera con lo que es primero en la naturaleza, lo racionalmente inteligible. En el último capítulo de los *Analíticos* segundos, Aristóteles se dedica precisamente a examinar el tipo de conocimiento requerido para los principios primeros e inmediatos de la demostración, y los pasos que hay que dar para llegar ahí. Por medio de la experiencia sensorial y de procesos inductivos, la percepción sensorial se transforma en memoria, la **me-** memoria en experiencia, y lo que se va logrando a cada paso es captar y estabilizar lo universal. En cambio, en Descartes y posteriormente en Newton ya no hay universales. El conocimiento no es un proceso ascendente, sino un proceso descendente de Dios a nuestra mente, en el caso de Descartes, y un proceso inmanente a partir de la **estructura** matemática de los fenómenos, en el caso de Newton (y hasta cierto punto de Galileo).⁸

Galileo y Newton compartieron con Descartes el concepto de ciencia como conocimiento cierto, y por **lo** tanto sólo concibieron como aceptables **científi-** camente las explicaciones que constituyen inferencias demostrativas, no meramente probables. Sin embargo, Galileo y Newton, sobre todo, trataron de **desar-** rrollar mediante el diseño y la elaboración de experimentos y **la** puesta en perspectiva de observaciones en un marco matemático-conceptual, un concepto de deducción a partir de los fenómenos que permitiera evadir el problema que Descartes no pudo resolver. Las dificultades de **las** propuestas de Galileo y Newton constituyeron el núcleo de los problemas alrededor de los cuales se edificó la filosofía de la ciencia en el siglo XIX.

La solución a estos problemas no se dio a través del descubrimiento de un tipo de inferencia que llevara de los fenómenos a las leyes de la naturaleza con certeza, sino en el abandono de ese ideal mediante **la** incorporación de concepciones del método y criterio epistemológicos que aceptan la incertidumbre como parte constitutiva del conocimiento científico. Este **desarrollo es** el tema de **la** tercera parte de este libro.

⁸ Como vimos en la sección § 2, en Descartes también se encuentra esa veta inmanentista, pero las inferencias no se formulan como si partieran de la estructura matemática de los fenómenos, sino a partir de la que podríamos llamar "la estructura mecánica" de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Respecto al debate sostenido por Galileo contra los filósofos, consúltese el libro ya citado (en el capítulo 2) de Mario Biagioli, 1993. Una biografía clásica de Newton en la que se incluye una discusión pormenorizada del origen de sus ideas y su conexión con las de sus contemporáneos es *Never at Rest*, de Richard Westfall, Cambridge, Cambridge University Press, 1980. Un libro con un enfoque muy diferente del aquí presentado en cuanto al tema de la explicación en las teorías de la mecánica escolástica y galileana es el de Stephen Gaukroger, *Explanatory Structures: Concepts of Explanations in Early Physics and Philosophy*, Nueva Jersey, Humanities Press, 1978.

4

EL CONCEPTO MODERNO DE CIENCIA

Para Descartes la materia era inerte. A partir de la subordinación de los cuerpos a las leyes del movimiento, Descartes pretendía explicar todos los diferentes aspectos y la variedad de fenómenos del mundo de la experiencia. Estas leyes eran verdades metafísicas que describían aspectos estructuralmente necesarios del mundo, derivables deductivamente de la infinita perfección de Dios. Para Descartes, Dios pudo haber creado otros mundos, pero no podría haber creado ningún mundo en el que las leyes del movimiento no se cumplieran. Es más, del hecho de que las leyes tenían aplicación universal se seguía, según él, que de un caos inicial se pasaría a un arreglo material similar al de nuestro mundo, en el que habría un planeta como el nuestro, estrellas y un sol. Descartes sugirió incluso que la acción de las leyes del movimiento podía explicar la formación de los ríos y los mares, la presencia de metales en las minas, e incluso el crecimiento de las plantas en el campo. Si Descartes fuera consistente con su concepción externalista de las leyes, como una descripción de las interacciones entre corpúsculos elementales y de los posibles resultados de esas interacciones, entonces no tendría por qué seguirse lo que él afirma en *El mundo* (capítulo 6) y que citamos en la introducción general. Esto es, que las leyes son capaces de desenredar un caos inicial de manera tal que resulte un mundo perfecto y esencialmente similar al que conocemos. Esta concepción de ley pretendía regir la trayectoria histórica de todos los sucesos del mundo, y esto sólo puede entenderlo una noción inmanentista de ley natural.¹ El inmanentismo de Descartes, sin embargo, es no aristotélico al reconocer la validez universal de las leyes. En la tradición aristotélica, los fenómenos celestes eran cualitativamente diferentes de los terrestres. Los cielos y la Tierra estaban sujetos a leyes diferentes.

¹ Por supuesto, una alternativa es reconocer la intervención directa de Dios en el mundo. Dios podía simplemente usar las leyes como auxiliares en su construcción, pero esto iría en contra de una idea que Descartes, y los otros fundadores de la ciencia moderna, querían evitar: la subordinación epistemológica de la ciencia a la teología.

Ahora bien, en el siglo XVII se originó otro concepto de ley universal de la naturaleza como principio explicativo en el tipo de astronomía que, a partir de Kepler y Galileo y después con Newton, absorbía insaciablemente los últimos adelantos de la matemática. Éste también es un concepto **externalista**, no inmanente de ley que pretende describir las regularidades más generales de la experiencia con poder explicativo. En este capítulo examinaremos los aspectos más importantes de esta concepción de ley **externalista** de la naturaleza y la manera como incide en la discusión en tomo a qué debe ser una explicación para que se la considere conocimiento científico.

§ 1. EL CONCEPTO DE LEY UNIVERSAL EN KEPLER Y GALILEO

Johannes Kepler fue el primero que **trató** de matematizar la descripción del cosmos a finales del siglo XVI. Por su preparación como astrónomo, Kepler conocía mucho de óptica y dedicó bastante tiempo a entender las propiedades de la luz y de las lentes que le permitían ver los astros. Sobre la base de su conocimiento de las propiedades de la luz, Kepler logró mejorar sus instrumentos y corregir sus observaciones. Implícitamente, entonces, Kepler quería decir que la óptica, la ciencia que trata de las propiedades de la luz, se aplica tanto en el cielo como en la Tierra. Este hecho significó un paso muy grande en el derribamiento de la distinción tradicional entre fenómenos celestes y fenómenos terrestres. El rechazo de esta distinción fue **crucial** para el desarrollo de la ciencia **moderna**.² Este paso de Kepler se apuntaló mediante su intervención en la polémica que entonces sostenía Galileo contra los **físicos** aristotélicos. Veamos esto con más detalle.

Antes de Galileo no hubo un desafío **sistemático** a la idea escolástica de que la ciencia es, o bien, conocimiento de principios a través de la intuición, o bien conocimiento obtenido a través de la experiencia sensorial. El conocimiento confiable obtenido a través de los sentidos era aquel que podía ser corroborado por más de un sentido. Éste es el llamado criterio de **robustez** sensorial. Por ejemplo, si vemos una cabra en la cumbre de una montaña, esta percepción es **confiable** en tanto que es posible, al menos en principio, subir a la montaña y **tocar** la cabra. Éste es un presupuesto del concepto de conocimiento empírico en la tradición aristotélica que casi nunca se **formula** explícitamente, pero que

² También Descartes formuló claramente la revolucionaria idea de que el mundo empírico, que comprendía tanto los fenómenos celestes como los terrestres, estaba sujeto a las mismas leyes y se explicaba en términos de las mismas causas. Sin embargo, en Descartes esta idea simplemente era parte de su metafísica.

sin duda es importante para entender una serie de características de esa concepción del conocimiento. En este contexto, la importancia del trabajo de Kepler en óptica — al cual nos referimos antes — es que por primera vez hace descansar la confiabilidad de una observación no en el criterio de robustez sensorial, sino en la objetividad de las leyes de la óptica:

Cuando Galileo dirigía su telescopio al cielo e intentaba conocer algo no cognoscible a simple vista, en realidad estaba rechazando la concepción tradicional del conocimiento que identificaba lo inteligible con lo accesible a los sentidos de manera robusta. De acuerdo con la tradición aristotélica, se **podía** confiar solamente en lo que el telescopio nos permitía ver sobre la Tierra. Si, por **ejemplo**, como lo hizo Galileo, se dirige el telescopio a un castillo en una colina lejana, y pueden verse con detalle las ventanas que apenas se distinguen a simple vista, entonces es racional pensar que **el** telescopio nos permite tener la experiencia visual que tendríamos si nos acercáramos uno o dos kilómetros. De albergar alguna duda, nos podríamos acercar más y tocar las ventanas. Pero si dirigimos el telescopio a los cielos no tenemos ninguna razón, en el marco conceptual aristotélico, para confiar en lo que vemos. Dado que los cielos son **otro** tipo de realidad, ¿por qué vamos a pensar que el telescopio puede mostrarnos lo que existe o sucede en los astros? La vista dirigida hacia los cielos no es una fuente confiable de impresiones sensoriales.

La **pretensión** de Galileo de que lo que estaba **observando** era **realmente** la **superficie** de la Luna, y de que lo que **parecían** montañas **debían** ser **montañas**, se encontraba, ciertamente, fuera de lugar en el marco conceptual aristotélico. En 1610, en medio de la disputa acerca de la validez de las observaciones con el telescopio, se envió a Kepler uno de los telescopios construidos por Galileo para que opinara acerca de la validez de las observaciones realizadas con él. Previamente Kepler había externado su escepticismo acerca de la confiabilidad de las lentes. Pero, con **el** telescopio de Galileo en sus manos, Kepler pudo ver las lunas de Júpiter y la superficie irregular de la Luna. Después de una serie de pruebas, Kepler aceptó la pretensión de Galileo de que el telescopio permitía ver el cielo.

Pero es importante recalcar que, en 1610, Kepler tenía razones poderosas que lo llevaron a aceptar la tesis de Galileo, puesto que rechazarla habría significado que las leyes de la óptica, que explicaban el diseño de las lentes utilizadas por Galileo, no tenían validez universal. De hecho, ese mismo año Kepler había publicado su tratado de óptica, *La dióptrica*, en el cual generalizaba su teoría anterior de la óptica, extendiéndola al estudio de las lentes (gracias a una serie de experimentos con éstas). Fue esta teoría la que **permitió** a Kepler entender el funcionamiento del telescopio y, por lo tanto, validar las observaciones de Galileo. Rechazar la pretensión de Galileo de poder ver la Luna implicaría

que las leyes de **la** óptica, recién sistematizadas por Kepler, **sólo** se aplicaban sobre la superficie de **la** Tierra. Esta restricción les habría parecido absurda a Kepler y a muchos de sus contemporáneos. Podemos decir, entonces, que la teoría de la óptica es la primera teoría universalmente válida que se establece por medio de experimentos en la superficie de la Tierra.

Si bien Descartes fue el primero en señalar que la mecánica tiene validez universal, nunca llegó a **formular** las leyes del movimiento de los planetas. **Newton** fue el primero en formular leyes mecánicas de validez universal que utilizó para explicar el movimiento de los astros. Con **Newton**, el criterio de robustez sensorial para decidir acerca de la objetividad de una observación se abandona por completo, y en su lugar se propone un criterio que podríamos llamar de robustez *fenoménica*. De acuerdo con éste, las extrapolaciones de **resultados** de experimentos y de observaciones hechas sobre la superficie de la Tierra a los fenómenos celestes, son **confiables** en tanto que podamos derivar de ellas ciertas generalizaciones que constituyan leyes de la naturaleza (véase el capítulo anterior). El problema es, entonces, cómo justificar que la **extrapolación** basada en nuestros experimentos constituye conocimiento cierto acerca del **mundo**.

Como vimos, Newton intentó responder esta pregunta en términos de un tipo de inferencia que **él** llamó "deducción a partir de los fenómenos". La descripción de este tipo de inferencia, sin embargo, dejaba sin resolver una serie de cuestiones que se hicieron explícitas en el siglo XIX y a las cuales nos referiremos en la tercera parte del libro. Pero antes de continuar es necesario que profundicemos en la concepción del conocimiento científico que surgió en el siglo XVII motivada por el desarrollo de las diferentes ciencias empíricas, y por la astronomía en particular. Como veremos, una serie de cuestiones de importancia **metafísica** y teológica estaban en juego en la noción de ley de la naturaleza de aplicación universal.

§ 2. LOS CONCEPTOS DE LEY Y EXPLICACIÓN EN LEIBNIZ

Algunos filósofos racionalistas **del** siglo XVII, como Leibniz, pensaban que era necesario profundizar **en** la relación entre las leyes de la naturaleza y la regulación divina del mundo para poder entender cómo era posible que pudiéramos inferir de los efectos a las causas. Leibniz creía que no era posible atribuir poder explicativo a una ley, a menos que esa ley pudiera expresarse como parte de los preceptos de la regulación divina. Como en Aristóteles y en Descartes, las explicaciones de Leibniz consistían en cadenas de **inferencias** deductivas a partir

de principios indubitables. Aristóteles, Descartes y Leibniz, sin embargo, diferían en la manera como entendían esos principios.

Puesto que todos ellos entendían la explicación científica como una deducción a partir de leyes, el problema de fondo era el de la naturaleza de la ley científica. Para Leibniz, la existencia de leyes de la naturaleza, y el papel que éstas desempeñaban en las explicaciones de la ciencia, se fundamentaba en la manera como el mundo es producto de la legislación divina. La concepción de Dios de Leibniz es importante no sólo para entender el origen de las leyes de la naturaleza, sino también para entender la manera en que, según **él**, el objeto de la ciencia son esas leyes. Leibniz fue, en efecto, **el** primer filósofo que trató de **explicar** con cierto detalle filosófico la manera como Dios transfería sus fines al mundo por medio de leyes.

Así pues, Leibniz es una **mezcla** interesante de filósofo mecanicista —alguien que cree que en el dominio físico las explicaciones son mecanicistas— y metafísico (y teólogo) que al mismo tiempo piensa que la naturaleza de la **realidad** sólo puede formularse en **términos** defines que, a fin de cuentas, nos refieren a Dios. Esta mezcla (aunque no revoltijo) de teología y mecánica se convirtió en una fuente muy importante de inspiración para varias escuelas científicas y filosóficas durante los siglos XVIII y XIX, sobre todo por medio de las ideas que al respecto Kant desarrolló.

Según Leibniz, para Dios no hay irregularidades en el mundo; nuestra percepción de ellas se debe solamente a la limitación de nuestras capacidades **cognoscitivas**. Ahora bien, dado que cualquier serie de sucesos puede subsumirse en una sucesión dictada por una regla, Leibniz señaló que el de regularidad no podía ser un buen criterio para entender lo que es una **ley** ya que, dado un conjunto cualquiera de observaciones, siempre podríamos encontrar una supuesta ley que las rigiera. Sin embargo, como hizo notar Leibniz, existen muy pocas leyes que rigen el comportamiento de los fenómenos y generan el orden existente en el mundo.

Ahora bien, estas leyes "de orden general", según Leibniz, no involucraban una necesidad geométrica. En este sentido, y **sólo** en este sentido, las leyes eran arbitrarias, aunque en otro sentido no lo eran puesto que se originaban en la sabiduría de Dios o, lo que es lo mismo, en el principio de la máxima perfección que **las** había escogido. El trabajo de Dios, pues, era similar al de los geómetras, arquitectos e ingenieros, quienes intentaban construir, como Dios siempre lo hacía, buscando la máxima eficiencia, **el** mejor diseño.

De esta manera, para Leibniz, las leyes "de orden general" exhibían **la** ontología del mundo, es decir, eran fundamentales ya que trataban de lo real, no de lo meramente fenoménico. Más aún, este orden o armonía que imponían las

leyes **podía** detectarse **en** cualquier pequeña muestra del mundo, lo que permitía conocer a través de los sentidos la totalidad, la base metafísica de la realidad:

Si los cuerpos fueran meros fenómenos, los sentidos no nos engañarían al respecto, porque los sentidos no ponen nada de ellos en cuestiones metafísicas. La veracidad de los sentidos consiste en el hecho de que los fenómenos están de acuerdo unos con otros, y que los sucesos no nos engañan si nos guiamos por las regularidades construidas en la experiencia. (Loemker, p. 202)

Leibniz afirmaba que las observaciones por sí solas no podían darnos **información** acerca de las relaciones **causales** que constituyen la realidad que está detrás de las apariencias. Según Leibniz, esto muestra la deficiencia de una epistemología empirista que pretendía identificar las leyes con las regularidades de la experiencia. Mientras que para Descartes la observación de los efectos, por lo menos en ciertos casos, permitía inferir de los efectos a las causas, para Leibniz la observación no daba acceso a las causas últimas responsables del mundo empírico. En Leibniz, las inferencias de efectos a causas requerían el conocimiento de las leyes immanentes de las sustancias.

En la filosofía de Leibniz se utilizan de manera consciente **los** dos conceptos diferentes de ley de la **naturaleza** que mencionamos en la introducción general y al inicio de este capítulo: **la** idea de ley como una propiedad immanente de sustancias individuales, y el concepto de ley como un principio que rige la actividad de las cosas desde fuera. Por un lado, de acuerdo con Leibniz, una ley es constitutiva de la naturaleza misma de las sustancias individuales. Por ejemplo, según Leibniz, entre una infinidad de seres posibles, Dios decidió actualizar solamente a ciertos seres y, al crearlos, les imprimió la serie de sucesos por los que deberían pasar. Esta concepción de ley immanente, como regla que rige el desarrollo de sustancias individuales y que las constituye, es reminiscente de la concepción de sustancia de Aristóteles. Pero, por otro lado, Leibniz también habló a veces de las leyes como agentes externos a las sustancias que explican la actividad de las sustancias individuales. En esta concepción de ley, lo que les sucede a las sustancias individuales es el **producto** de la actividad de las leyes;

Leibniz expresó la idea de la prioridad de las leyes sobre la ontología **del mundo** en varios pasajes. Por ejemplo:

Hay un número infinito de maneras posibles en las que el mundo puede ser creado, según los diferentes designios a los que Dios podría dar forma [...] cada mundo posible depende de ciertos designios o propósitos principales que son distintivos de ese mundo, esto es, ciertos decretos primarios y libres (concebidos *sub ratione possibilitatis*) o ciertas *leyes* de orden general de ese universo posible con el que están de acuerdo y

cuyo concepto determinan [...]. (Carta a Arnauld de julio de 1686 en Ariew y Garber 1989, p. 333.)

En este caso es clara la idea de que las leyes de orden general son suficientes para determinar el mundo, todo lo que sucede en el universo. Pero en otras partes Leibniz señala que cada individuo de un mundo posible incluye esencialmente las leyes de ese mundo, ya que las leyes de la naturaleza son derivativas de las leyes de las sustancias individuales. Por ejemplo, en más de una ocasión Leibniz afirmó que todo sucede como consecuencia del estado inicial que Dios le dio a cada sustancia individual.

Leibniz considera que puede evitar la tensión entre esos dos conceptos de ley recurriendo a la idea de un orden preestablecido en los mismos conceptos individuales (**veáse**, por ejemplo, la carta a Arnauld del 14 de julio de 1686). Pero esta solución parece ignorar el tipo de pregunta que, según hemos visto, motivó a muchos filósofos del siglo XVII, a saber, **¿cómo** aprendemos de un experimento?

Como indicamos al inicio de esta sección, pese a que en Leibniz se da una importante mezcla de teología y mecánica, en el dominio de la física es un **mecanicista**. Leibniz pensaba que el universo tenía una estructura mecánica y señalaba que el mundo entero **podía** entenderse metafóricamente como un mecanismo compuesto de fuerzas. La ciencia de la mecánica, según Leibniz, sólo se aplicaba a fenómenos, a entes formados por agregación. En la medida en que esto no era toda la realidad, los fenómenos existían por convención y no por naturaleza; no obstante, los fenómenos podían ser reales. Veamos:

La materia es un agregado, no una sustancia sino un substantum como lo sería un ejército o una parvada de pájaros; y en la medida que se la considera como constitutiva de una cosa, es un fenómeno, muy real, de hecho, pero una cosa cuya *unidad* se construye en nuestra concepción. (Carta a Samuel Masson de 1716, en p. 227 de Ariew y Garber, Leibniz, *Philosophical Essays*, Indianápolis, Hackett, 1989.)

Así pues, para Leibniz la descripción del mundo en términos mecánicos era una descripción real en el nivel fenomenológico. Esto significa que, en cierto sentido, esta descripción era autónoma; que no era necesario recurrir a niveles metafísicos más profundos para explicar el mundo mecánicamente. **Sólo** si quisiéramos una explicación de los aspectos no mecánicos del mundo, tendríamos que recurrir a la **metafísica** y, en especial, a las causas finales. **Así, para hacer física** no es necesario hacer ni teología, **ni metafísica ni fundamentos de la matemática**. Lo que no queda claro es cómo podíamos "hacer física" mas **allá** de lo que sería un designio. Pero Leibniz fue muy perceptivo del tipo de dificultades de fondo que confrontaba el **mecanicismo** cartesiano.

Una **limitación** central que Leibniz vio en la concepción **mecanicista** ilimitada de Descartes, es que las leyes de la mecánica no podían pretender dar cuenta de la generación de la vida. Las leyes de la mecánica —afirma Leibniz— no podrían formar un animal de no existir ya algo previamente organizado. Leibniz parecía reconocer que, si de lo que se trata es sólo de dar cuenta de los fenómenos, entonces si era suficiente dar una descripción mecánica; pero **sostenía** que lo que la mecánica nunca iba a poder darnos era una explicación de por qué cierta sucesión de fenómenos tiene lugar y no otra. Para responder esta pregunta es necesario ir más **allá** de la **física** y recurrir a la noción de causa final.

En **la** discusión entre Leibniz y Descartes, pues, se vislumbraba ya uno de los problemas centrales de la filosofía moderna. Una **metafísica** suficientemente rica como para dar cuenta de los fenómenos más allá de sus aspectos puramente mecánicos no es accesible a la experiencia, mientras que una epistemología arraigada en la experiencia no es suficiente para explicar la **realidad** subyacente tras los fenómenos en los que las propiedades del todo son algo más que la agregación de las propiedades de **las** partes.

Otro aspecto metafísico importante de la ciencia del siglo **XVII** se encuentra tratado de manera **clásica** en los escritos de **Isaac** Newton. La distinción que introdujo Newton **entre diferentes tipos de propiedades**, entre propiedades universales y no universales, y la concepción de método científico basada en esa distinción, puede verse como un intento por resolver los problemas **planteados** por Leibniz a toda epistemología empirista.

§ 3. MÉTODO CIENTÍFICO Y METAFÍSICA EN NEWTON

El método científico en Newton se resume **en** las reglas del razonamiento del libro **III** de los ***Principios matemáticos***:

Regla **I**: Debemos admitir únicamente aquellas causas de cosas naturales que son verdaderas y suficientes para explicar las apariencias.

Regla **II**: **A** los mismos efectos naturales debemos asignarles las mismas causas.

Regla **III**: Las cualidades [propiedades] de los cuerpos que no admiten aumento o disminución de grado, y que encontramos en todos los cuerpos al alcance de nuestros experimentos, deben considerarse como las cualidades universales de los cuerpos.

Regla **IV**: En la **filosofía experimental** debemos buscar proposiciones seleccionadas por medio de una inducción general a partir de fenómenos exactos o muy cercanos a la verdad, a pesar de la posibilidad de imaginarse hipótesis contrarias, hasta que

llegue **el** momento en el que ocurran otros fenómenos que sean más exactos, o que muestren que estas proposiciones tienen excepciones.

La regla **III** es un intento por caracterizar aquellas propiedades que, según Newton, son epistemológicamente básicas en el sentido en que lo explica la siguiente regla metodológica: las cualidades [**propiedades**] universales de las cosas son derivables de los fenómenos. Esta idea se argumenta y se hace explícita en el párrafo que sigue a **la** regla **III**:

No conocemos la extensión de los cuerpos **más** que por nuestros sentidos, y éstos no alcanzan a detectar todos los cuerpos; pero como percibimos la extensión en todo lo que **está al** alcance de nuestros sentidos, le atribuimos extensión universalmente a todos los cuerpos. Que hay muchos cuerpos duros lo sabemos por medio de la experiencia; y como la dureza del todo surge de la dureza de las partes, por ello inferimos justamente la dureza de las partículas no divisibles, no sólo de los cuerpos que percibimos sino de todos los demás. Que todos los cuerpos son impenetrables algo que extraemos de los sentidos, no de la **razón**. Los cuerpos que manipulamos son impenetrables y de allí extrapolamos y concluimos que todos los cuerpos son impenetrables, que la impenetrabilidad es una propiedad universal [...]. La extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y la inercia del todo es resultado de las mismas propiedades de las partes, y por ello concluimos que las partículas más pequeñas de todos los cuerpos son también extensas, duras, impenetrables, móviles y provistas de inercia. Y éste es el fundamento de toda filosofía.

Nótese que la gravedad no se menciona entre las propiedades universales, aunque es claramente una propiedad de todos los cuerpos que están al alcance de nuestros sentidos. En la tercera edición de los ***Principios matemáticos***, Newton agregó **a** su comentario a la regla **III** las siguientes oraciones que clarifican sus ideas:

No creo en absoluto, sin embargo, que la gravitación **les** sea esencial a los cuerpos. La única fuerza inherente es la inercia. Ésta no cambia. La gravedad cambia con la distancia a la Tierra.

Así, Newton implícitamente establece una distinción entre dos tipos de propiedades, las propiedades **universales** y las propiedades **esenciales** de **los** cuerpos. La gravitación es una propiedad universal, *i.e.*, es una propiedad de todos **los** cuerpos, pero no una propiedad **esencial, intrínseca**, de los cuerpos. Una propiedad esencial es **la** que un cuerpo tendría aun en **un mundo** en donde ese cuerpo **fuese** el único cuerpo, *i.e.*, con respecto al espacio **absoluto**. Esta **identificación de las propiedades esenciales de los cuerpos, con las propiedades que un cuer-**

o *tiene* con respecto al espacio absoluto, es el supuesto *metafísico* central de *la física* de Newton. Este supuesto está implícito en la prueba que ofreció Newton de la existencia del espacio absoluto, en las leyes del movimiento y en las definiciones centrales de su mecánica. Para Newton, el mundo estaba constituido por partículas semejantes cuyas propiedades esenciales eran independientes de la existencia del sistema de cuerpos que constituía ese mundo. Quedan sin resolver, sin embargo, importantes problemas metafísicos. El problema *más* preocupante que dejó sin responder la física de Newton es el de *la* naturaleza de la gravedad.

Durante casi cincuenta años, Newton buscó una respuesta al *problema* de explicar la causa última de la gravitación, pero todos sus *esfuerzos* fallaron. En los Principios matemáticos, habla de la atracción gravitacional, e *inmediatamente* después aclara que no está pensando en una atracción a distancia. Una explicación que aludiera a la atracción a distancia entre dos cuerpos sería *el* tipo de explicación por causas ocultas que Newton intentaba evitar. Pero, tal y como Leibniz lo menciona muchas veces (en la Teodicea de 1710, por ejemplo), la tesis de Newton de que la gravedad es una cualidad original producida directamente por Dios, de una manera que no nos es inteligible, no es más que hacer de la gravedad una "cualidad oculta".

En algunos escritos especulativos póstumos, Newton *señaló* que una respuesta al problema de explicar el origen de la gravitación podía provenir de los antiguos, para quienes el Sol era el "*rey* de las siete armonías sonoras"; para ellos, el Sol era la prisión de los planetas. El Sol, en tanto que era concebido como origen de la gravitación, estaba presente sustancialmente en todos los cuerpos en la forma de partículas luminosas. En el fondo, Newton estaba sugiriendo *la* identificación de Dios con el Sol, algo que posiblemente apoyaba también su idea de que el centro del sistema *solar* no se movía.

Este tipo de ideas están indudablemente emparentadas con la tesis de Newton *según* la cual el espacio es el sensorium de Dios, esto es, una especie de "órgano divino de los sentidos". Para Leibniz esta tesis de Newton indicaba que el espacio absoluto era el lugar de las sensaciones divinas. Ésta es una famosa tesis *teológica* que *había* sido ampliamente criticada en la teología ortodoxa pues parecía implicar la materialidad de Dios. Clarke, amigo cercano de Newton, trató de desligarlo de semejante tesis en su correspondencia con Leibniz. Sin embargo, es posible encontrar otros escritos publicados de Newton (además de material no publicado, como el de la cita anterior) que apoyan la interpretación de Leibniz de manera explícita. En la *Óptica*, por ejemplo, Newton dice lo siguiente:

¿Cómo siguen *los* movimientos del cuerpo a la voluntad y de dónde provienen *los* *instintos* de los animales? ¿No es *el* sensorium de los animales el lugar en el que la

sustancia sensorial está presente y en el cual *lo* *perceptual* de las cosas, transmitido por los nervios y el cerebro, se percibe? (*Óptica*, Qu. 28)

En otra parte del mismo libro (en Qu. 31), Newton establece una clara analogía entre las representaciones (las imágenes o, como él las llamó, *species*) de las cosas en nuestro sensorium (el cual de acuerdo con Newton está *situado* en el espacio, como un *pequeño* teatro), y *la* presencia de los cuerpos materiales en el espacio absoluto, el sensorium de Dios.

Ahora bien, la importancia de esta concepción metafísica de la relación entre Dios y el espacio *absoluto* radica en que *permite* en principio resolver el *problema* de la naturaleza de la gravedad, si además se acepta, como Newton lo hizo, que las imágenes (las *species*) no *interactúan* como los cuerpos materiales, es decir, mecánicamente o por contacto, sino que son movidas por la voluntad de Dios. Newton parecía indicar que el problema de la gravitación, y en general el problema de la acción de algo inmaterial sobre lo material, podría resolverse haciendo caso omiso de *la* materialidad de los cuerpos. La dificultad de explicar una acción a distancia se *resolvería* entonces a partir de la negación de toda interacción material entre los cuerpos. En la realidad se trata sólo de un movimiento de acuerdo con leyes matemáticas que tiene lugar en el sensorium de Dios.

Esta idea se encuentra expuesta muy claramente en la obra de Locke (Ensayo, libro IV, cap. X, §18), quien *señala* que proviene de Newton. *Posteriormente*, Newton a su vez reconoce que se la sugirió a Locke en una conversación. Es también significativo que el núcleo de la idea ya esté en los primeros trabajos de Newton. En sus primeros trabajos, que nunca publicó, Newton desarrolló cuidadosamente la idea de que Dios creó la materia al otorgar impenetrabilidad a ciertas porciones del espacio, a las que posteriormente Dios obligó a comportarse de acuerdo con *las* leyes del movimiento.

Lo importante para nuestro propósito presente es damos cuenta de que la discusión acerca de cuestiones *metafísicas* entre Newton y Leibniz no es una mera discusión acerca de ideas *teológicas*, sino, a la vez, una discusión acerca de los fundamentos de la ciencia. Tanto en Newton como en Leibniz, la metafísica está íntimamente ligada a su concepción de lo que es la ciencia y la naturaleza, *así* como a los límites de las explicaciones científicas. La metafísica no es un mero *apéndice* de la física (como se piensa *vulgarmente* que sucedía con Newton) o viceversa (como se piensa vulgarmente en el caso de Leibniz). Por el contrario, la metafísica es parte *integral* del concepto de conocimiento científico que está en discusión. Así, la controversia entre Leibniz y Clarke (un filósofo amigo y defensor de Newton) es, *en* el fondo, una discusión acerca de la relación entre

ciencia y metafísica, y en particular, acerca del papel de las leyes en las explicaciones científicas. A esta discusión se dedica la siguiente sección.

§4. LA DISCUSIÓN ENTRE LEIBNIZ Y NEWTON SOBRE EL CONCEPTO DE CIENCIA

La correspondencia Leibniz-Clarke consiste en cinco cartas de Leibniz y cinco de Clarke. Fueron escritas entre los años 1715 y 1716, y publicadas en 1717 por Clarke. Esta correspondencia es parte de una álgida controversia entre Newton y Leibniz que se inició con una discusión acerca de quién fue el primero en inventar el cálculo. Posteriormente la discusión se centró en el ataque de Leibniz a la teoría de la gravedad de Newton. Leibniz **origina** en la *Teodicea*, publicada en 1710 (y en una serie de publicaciones posteriores), que la fuerza de gravedad introducida por Newton es una "cualidad oculta", y considera que sería un milagro perpetuo si los planetas se movieran en órbitas circulares sin que hubiera nada que los impulsara. Leibniz opinaba que Newton había contribuido al declive de la religión natural en **Inglaterra** con la propagación de sus ideas acerca de la gravedad y por medio de su tesis de que el espacio es el "*sensorium* de Dios".

Ahora bien, una buena parte de la correspondencia se dedica a una discusión acerca del llamado "principio de la razón suficiente", según el cual debe haber una razón de por qué algo es como es y no de otra manera. Según Leibniz, de este principio se sigue la falsedad de la teoría del espacio y el tiempo de Newton (el núcleo **metafísico** de su teoría) ya que de él se deriva la identidad de los indiscernibles, esto es, la identidad de todos aquellos entes que no difieren en ninguna de sus propiedades esenciales. Veamos. Supongamos que dos entes no difieren en sus propiedades esenciales; entonces, no hay razón para que sean diferentes y, por tanto, **según** el principio de razón suficiente, no pueden ser diferentes. Sin embargo, según Leibniz, los puntos **del** espacio y el tiempo de Newton son indiscernibles esencialmente y, por lo tanto, no pueden ser entes diferentes realmente existentes.

La discusión acerca de la naturaleza del espacio entre Leibniz y Newton tiene, pues, profundas raíces en problemas físicos y metafísicos que preocuparon constantemente a ambos; problemas que, en particular, están íntimamente ligados al problema de explicar la fuerza de la gravitación de una manera científica. Newton señaló (en las cuestiones de la *Óptica*, por ejemplo) que la gravitación posiblemente llegaría a explicarse algún **día** en términos mecánicos, a partir del choque de las partículas de los cuerpos con un medio interplanetario (el éter). Otras veces, en cambio, afirmó que el **problema** debía dejarse de **lado**

(como lo dice Clarke en la correspondencia con Leibniz) por ser un problema para el cual no se tenía una respuesta aceptable.

En el fondo, entre Leibniz y Newton hay una discusión acerca de que es el conocimiento científico y qué tipo de hipótesis e inferencias son aceptables en las explicaciones científicas. Newton **partía** de la existencia de las partículas elementales para explicar el comportamiento dinámico de los diferentes sistemas **físicos**. Por el contrario, Leibniz **partía** de supuestos acerca del sistema del mundo como un todo, y de **ahí** infería la composición de los elementos. Veamos cómo estas dos estrategias metafísicas intervienen en la discusión entre Leibniz y Clarke.

Según Newton (en voz de Clarke), el espacio absoluto era el órgano sensorial (*sensorium Dei*) de Dios. Esto sugiere algo que Newton parece corroborar en otros escritos: que la gravedad es una acción directamente proveniente de Dios, puesto que la materia, como él lo afirma muchas veces, "no tiene vida y es inerte". Pero, entonces, ¿cómo es que **Dios mueve** la materia? Dios tiene que mover la materia de una **forma** racional, que no contradiga las leyes del movimiento que Él ha impuesto a la materia. Esto, sin embargo, tiene una **serie** de implicaciones. En primer lugar, cualquier movimiento tiene que partir de una **acción local**, esto es, no puede haber acción a distancia pues ello sería equivalente a postular "cualidades ocultas" de las cosas, que no son explicables por medio de las leyes del movimiento (las **cuales** son de carácter local). En segundo lugar, Newton consideraba que Dios tenía que intervenir en ocasiones para volver a equilibrar los movimientos de los astros de manera que se adecuaban a las leyes racionales que Él impuso. Esto lo obligó a reconocer la necesidad de que Dios interviniera de vez en cuando en su Creación para darle un poco más de "cuerda" al Universo. Newton había calculado que, de no ser así, el Universo se **colapsaría** en relativamente poco tiempo. Por el contrario, Leibniz consideraba que dado que el mundo como un todo estaba sujeto a leyes, cualquier pequeña intervención divina en el movimiento de los planetas era un atentado a la perfección del diseño preestablecido por Dios desde el principio de los tiempos.

Es importante recalcar que la creencia de Newton de que Dios tenía que intervenir de vez en cuando **para** mantener la estabilidad del universo no era una mera creencia metafísica. Newton había llegado a esa conclusión a partir de una serie de cálculos basados en su teoría de la mecánica celeste. Leibniz pensaba que esta idea era totalmente inadmisibles. De aceptarse, **todo problema científico podría resolverse de esta manera, postulando una intervención divina ocasional**. Leibniz rechazó, pues, la idea de que lo material se explicara a partir de un principio inmaterial ya que, como vimos, en su concepción **mecanicista** de lo físico esto significaría, en realidad, no dar una explicación. Para Leibniz, el mundo físico era un sistema que debía explicarse totalmente en **tér-**

minos de las leyes físicas. Por ejemplo, no podía excluirse la posibilidad de que el sistema solar desapareciera, pero esto tendría que ser una consecuencia de la acción de las leyes físicas.

Para Leibniz, como para Descartes (aunque con titubeos), todo lo que podemos hacer es formular hipótesis que den cuenta de los fenómenos, pero no podemos pretender tener acceso a un criterio que nos diga cuál es la verdadera explicación. Una respuesta a esta pregunta tiene que provenir de la metafísica. En todo caso, la selección de una hipótesis se hace sobre la base de su simplicidad o inteligibilidad. Los newtonianos, sin embargo, pensaban que, *en teoría*, era posible “desarmar” el Universo, de manera análoga a como se desarmaba un reloj, y obtener conocimiento a través de ese proceso. En ese caso, los modelos matemáticos nos permitirían —de cierta manera— simular la construcción divina, y así la simulación nos indicaría algo acerca de la estructura verdadera del Universo.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Un texto donde se encuentran los problemas que enfrentaron Galileo y Kepler es el de Galileo y Kepler, *El mensaje y el mensajero sideral*, trad. e introd. de Carlos Solís, Madrid, Alianza Editorial, 1984; también véase al respecto el libro de M. Biagioli citado al final del capítulo 2. La historia de la disputa entre Newton y Leibniz, así como las concepciones teológicas de Newton legadas a la física se presentan en el libro de Alexander Koyré, *Del mundo cerrado al universo infinito*, México, Siglo XXI, 1992. Para los orígenes del concepto de “ley de la naturaleza” véanse los siguientes artículos: Francis Oackley, “Christian Theology and the Newtonian Science: the Rise of the Concept of Laws of Nature”, *Church History* 30 (1961), pp. 433–457, 1990; y Jane E. Ruby, “The Origins of Scientific ‘Law’”, *Journal of the History of Ideas* (1986), pp. 341–359. Una colección de artículos recientes que refleja nuevos puntos de vista acerca de figuras y problemas prominentes en la ciencia de los siglos XVI y XVII, y en particular acerca de la relación entre ciencia y metafísica, se encuentra en el libro compilado por David Lindberg y Robert S. Westman (comps.), *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990.

5

EL PAPEL DE LAS LEYES EN LAS EXPLICACIONES CIENTÍFICAS: LA SÍNTESIS FILOSÓFICA

Descartes sostuvo que la realidad material consistía en una única sustancia estructurada de muy diversas maneras. Esta concepción de la ontología del mundo material se prestó naturalmente a la matematización que iniciaron los filósofos naturales del siglo XVII, sobre todo Newton. Con Descartes, Galileo y Newton se desarrolló la idea de que el verdadero conocimiento es conocimiento de algo que está más allá de los fenómenos, que tiene una estructura definida y caracterizable matemáticamente. Mientras que, por ejemplo, lo que explicaba el movimiento de caída libre en la tradición anstotélica era la presencia de una cualidad formal llamada “gravedad” (y en última instancia la explicación descansa en la existencia de un orden cósmico), para Galileo la gravedad consistía en una propiedad constitutiva de la materia que era el objeto de una teoría matemática. Esta teoría es un marco conceptual en el que, por ejemplo, el movimiento uniforme se vuelve algo real, algo existente como un objeto espacio-temporal. De manera similar, la estructura de la luz blanca o la ley de la gravitación universal, que Newton consideraba haber deducido de los fenómenos (Capítulo 3), eran conocimiento indirecto de las causas últimas, pero que se consideraba que podía justificarse como conocimiento cierto, a través de un análisis de los experimentos y observaciones, así como de las implicaciones de una posible explicación de esa realidad subyacente.

Decir que la realidad tiene una estructura que no está constituida por sustancias y, en particular, identificar la realidad con una estructura matemática de los fenómenos (como lo señalaron Galileo y Newton), nos permite formular la idea de que, si bien la realidad última, el origen de la estructura, está fuera del alcance de nuestras capacidades cognitivas, sí podemos tener conocimiento cierto de esa estructura. Esto es, conocimiento de la estructura matemática de los fenómenos. Este tipo de conocimiento, si bien no es conocimiento de las causas últimas, sí es conocimiento científico.

Según Newton, la “deducción a partir de los fenómenos” requería el diseño de experimentos y la sistematización de observaciones en un marco de concep-

tos matemáticos que permitieran llegar a tener conocimiento de la estructura (matemática) de lo real, sin suponer que conocemos las causas últimas de lo real. Así, implícitamente Newton distingue dos conceptos de "causa"; por un lado, habla de las leyes cuantitativas de la naturaleza como causas, en un sentido en el que ya Descartes hablaba de las leyes como causas secundarias (en los Principios de *la filosofía*), esto es, en el sentido de que apelar a esas leyes permite explicar (subsumiendo bajo leyes) los fenómenos. Por el otro, Newton habla de "causa" en el sentido del origen físico, en el nivel de la estructura corpuscular de la materia, del movimiento. Newton menciona, por ejemplo, la posibilidad de conocer la "causa" del movimiento planetario o la causa de la forma oblonga del espectro en el experimento con prismas, sin pretender conocer la realidad última que da origen a la estructura de los fenómenos. Newton aceptaba, en este sentido, que una cosa era deducir la composición (estructura) de la luz blanca o la ley de la gravitación universal, y otra era explicar esta estructura sobre la base de una teoría corpuscular de la materia. En este último nivel sólo podíamos especular, porque los experimentos no podían decirnos mucho al respecto. La estructura de los fenómenos o, más precisamente, las leyes de la naturaleza que describen esa estructura de manera cuantitativa, eran para Newton, causas que explicaban los fenómenos, y en ese marco sería más correcto hablar de principios explicativos. Es en ese sentido, y sólo en éste, como debemos entender la idea de Newton acerca de que la "gravedad es la causa de la rotación de la Luna alrededor del Sol". Es en el contexto de la estructura conceptual construida alrededor de la derivación de la ley de la gravitación universal donde la gravedad es una causa, entendida ésta como un factor explicativo de los fenómenos.

Para Newton, y para la tradición de la filosofía y la ciencia modernas que se fundamenta en sus teorías, el problema de identificar la estructura de los fenómenos se reduce al problema de identificar las leyes fundamentales de la naturaleza. Newton señalaba que las leyes fundamentales de la naturaleza son descripciones de las fuerzas de interacción que se aplican universalmente. Estas leyes nos permiten explicar la estructura de los fenómenos en la medida en que, por lo menos en principio, es posible derivar las regularidades a las que tenemos acceso en la experiencia a partir de esas leyes fundamentales. Esta concepción de ley de la naturaleza y de explicación sigue teniendo amplia aceptación entre los físicos y los filósofos.

Ahora bien, al aceptar esta caracterización de la ley fundamental de la física como el principio explicativo básico tenemos dos opciones: suponer que esta caracterización de las leyes fundamentales de la naturaleza es exhaustiva, y que por lo tanto la física es la ciencia privilegiada que trata de las leyes fundamentales y de las consiguientes explicaciones que pueden deducirse objetivamente

de los fenómenos; o bien pensar que esta caracterización de lo que es una ley de la naturaleza sólo se aplica a la física, y que muy posiblemente haya otro tipo de leyes y explicaciones científicas que no se adecuan a este modelo. Se conoce como *fisicalismo* la posición que trata de formular la primera opción y Newton, más bien (contra lo que podría pensarse), era partidario de la segunda opción. Es más, Newton pensaba que muchos principios explicativos importantes estaban fuera del alcance de nuestros métodos matemáticos y, por lo tanto, fuera del alcance del conocimiento que podíamos obtener a partir de (la estructura matemática de) los fenómenos.

Recordemos que parte del éxito de la propuesta de Newton se debió a que la ley de la gravitación universal salió a relucir, por así decirlo, a partir de cierta reformulación matemática de los fenómenos conocidos. Por esto Newton pudo hablar de "deducción", aunque el término no fuera estrictamente correcto. Pero el punto es que dadas ciertas restricciones, que no introducen hipótesis adicionales a los fenómenos, en el sentido de que no introducen otros principios explicativos, es posible deducir la ley de la gravitación a partir de los fenómenos en un sentido matemático estricto. Puesto en terminología contemporánea, lo que parece ser la idea implícita de Newton es que estas condiciones simplemente se aceptan como restricciones al tipo de modelos que hay que considerar como modelos explicativos. ¿Qué tipo de justificación podemos dar para aceptar estas condiciones de restricción? Una posible justificación es que estas condiciones hacen que las leyes tengan la forma más simple posible. En el caso de Newton esto es relativamente simple de formular con precisión. Sin embargo, por lo general este tipo de criterios se distinguen por lo difícil que resulta someterlos a una formulación rigurosa general, aplicable a cualquier conjunto de hipótesis.

Remos visto que Newton mostró cómo, en algunos casos especiales pero importantes, y bajo ciertos supuestos, es posible "deducir" de la estructura de los fenómenos ciertas leyes generales que describen esa estructura y que pueden utilizarse como puntos de partida, como premisas de las explicaciones. Pero, en general, ¿cómo podemos caracterizar una determinada estructura subyacente y objetiva de los fenómenos, de manera tal que esa estructura nos sirva como base para dar explicaciones en la ciencia? Podríamos pensar que la estructura de los fenómenos no es otra cosa que el conjunto de todas las regularidades de los sucesos a los que tenemos acceso en nuestra experiencia. Pero, como mencionamos en el capítulo anterior, Leibniz ya había advertido una dificultad de fondo con esta solución, a saber, que cualquier secuencia de sucesos puede hacerse encajar como parte de una secuencia ordenada. Esto es, puede pensarse que cualquier secuencia de este tipo sigue una ley de la naturaleza si sólo contamos con el criterio de la regularidad para seleccionar una ley.

Si aceptamos la crítica de Leibniz, llegamos al tipo de conclusión escéptica a la que llegó Hume: puesto que no parece ser posible tener conocimiento directo de las leyes de la naturaleza, lo mejor que podemos hacer es, simplemente, encontrar **la manera** de sistematizar nuestra experiencia, de modo que esta sistematización nos **sirva** de guía por la vida, pero sin pretender que podemos tener conocimiento cierto de un nivel de realidad del mundo que permita explicar los fenómenos. El problema de la explicación en la ciencia, en esta perspectiva, se reduce a la pregunta: ¿qué base tenemos para creer lo que creemos verdadero o probable? La diferencia en las respuestas es importante: Descartes y **Newton** pensaban que, de alguna manera, era posible llegar a tener conocimiento de las leyes objetivamente responsables de los fenómenos observados, y que el descubrimiento de esas leyes era un prerrequisito para realmente tener conocimiento y para poder explicar un fenómeno. Locke y Hume pensaron, en cambio, que a lo más que podíamos aspirar era a tener una probabilidad alta de que lo que creemos es realmente conocimiento acerca del mundo.

§ 1. EL PROYECTO EPISTEMOLÓGICO DE LOCKE

Según **Aristóteles**, la ciencia trata de sustancias, de cosas que tienen naturalezas. Entender la naturaleza o la esencia de una cosa es entender sus propiedades y su comportamiento. Todos los hombres tienen una esencia y los diferentes individuos se distinguen por su materia, del mismo modo en que todas las monedas de oro tienen la misma esencia pero se distinguen porque la materia de la que cada una está hecha es un pedazo distinto de **materia**. Por el contrario, en la **filosofía mecánica** del siglo XVII, la materia tiene una sola naturaleza o esencia, y en lugar de la **postulación** de otras naturalezas universales (formas sustanciales), se explican las diferencias entre tipos de cosas sobre la base de la figura, el tamaño, el movimiento, etcétera, de cantidades particulares de materia. En la filosofía **mecanicista**, todas las diferencias son diferencias de grado y todo es en principio mutable; todas las diferencias y cambios son, en última instancia, cambios en posición, orden y movimiento de las **partes** constituyentes de las cosas. El oro no difiere del agua por tener una forma sustancial diferente, sino porque tiene una **estructura** material diferente.

En las explicaciones aristotélicas se buscaban "definiciones reales". Una especie se definía en términos de género y diferencia, por ejemplo, un hombre es un animal (género) racional (diferencia). Un género puede a su vez **definirse** en términos de género más generales y así un árbol terminaría caracterizando una especie dada. La existencia de una clasificación natural de las cosas en el mundo, según los aristotélicos, sirve de punto de partida para explicar objetivamente

te un fenómeno. Muchas preguntas de la forma ¿por qué x? podrían explicarse diciendo que x es A, donde A es parte de un esquema clasificatorio. Así, por ejemplo, a la pregunta de ¿por qué los planetas giran en órbitas circulares? podría responderse diciendo que es porque son cuerpos celestes.

Las definiciones **nominales** de los escolásticos y de la tradición empirista de Locke y Hume, en cambio, no proporcionaban esta caracterización de la especie, puesto que no identificaban atributos principales de las especies. Para Locke, por ejemplo, toda clasificación era arbitraria. Locke criticó la concepción aristotélica de la explicación por definición porque consideraba que era la mente la que efectuaba la clasificación de **las cosas** y, siendo **así**, los universales no tenían existencia real. No hay principios clasificatorios fundamentados en la realidad, ni en la ciencia ni en ningún sistema de creencias empíricamente sancionado.

Así, Locke no encontró las distinciones que generan nuestras clasificaciones en el mundo, sino en la mente. Por ello Locke prefirió distinguir entre ideas simples y complejas. Una idea simple no es más que "una apariencia o concepción uniforme en la mente [que] no es distinguible en ideas diferentes". Con respecto a ellas, la mente es pasiva; se dan en la experiencia, como un color que vemos, un sonido que oímos, etcétera. Para Locke las ideas simples eran los elementos constitutivos de todo el conocimiento. Las ideas eran objetos que podían ser contemplados por un ser pensante sin un compromiso existencial fuera de la mente.

Locke distinguía entre esencias reales y nominales de manera análoga a la distinción aristotélica entre definiciones reales y nominales. Las esencias nominales consistían en las ideas complejas que reúnen varias ideas simples, y servían para delimitar las clases. Pero esta clasificación no tiene poder explicativo, no es más que una mera descripción útil para el reconocimiento de la clase. Por ejemplo, al decir que todas las monedas de mi **bolsillo** son de un peso, esto no tiene **ningún** poder explicativo o predictivo. La próxima moneda que esté en mi bolsillo no tiene por qué ser de un peso, y el enunciado "todas las monedas de mi bolsillo son de un peso" no es ningún indicador de ninguna propiedad de esa clase de objetos que vaya más allá de su descripción general. Por el contrario, para Locke la esencia real explica las propiedades de las especies definidas por medio de las esencias nominales, que construimos a partir de nuestra experiencia. Esta esencia real sólo puede ser, según Locke, la estructura **corpúscular** de **las cosas**, pero esta **estructura** corpúscular no es accesible a nuestra experiencia.

Esta importante diferencia entre los aristotélicos y los filósofos mecanicistas del siglo XVII, y Locke en particular, se expresa de nuevo en términos del concepto de sustancia. Las sustancias, como las esencias reales, denotaban, para

Locke, algo no observable y desconocido —o sólo conocido a través de sus efectos—. Locke interpretó la distinción entre sustancia y accidente en términos de una distinción central en su filosofía, y en la filosofía moderna en general, la distinción entre la realidad subyacente y los fenómenos concebidos en términos de propiedades observables.

Las "ideas de sustancias" son, para Locke, ideas complejas formadas sobre la base de observaciones que corresponden a unidades genuinas en la naturaleza. Estas unidades de la naturaleza son *percibibles* en la coexistencia de ciertos poderes y cualidades, y eso es todo lo que sabemos de estas unidades. *La idea de sustancia o sustrato marca la supuesta unidad natural entre los poderes y las propiedades que observamos en coexistencia.* Una sustancia es algo que está más allá de la observación y por lo tanto es desconocido —o sólo conocido indirectamente a través de sus efectos—.

Puede parecer contradictorio que Locke haya apoyado fuertemente el programa de la Royal Society para promover mejoras en las clasificaciones de todo tipo (incluyendo de manera prominente las biológicas). Sin embargo, esta posición fue consistente con su posición filosófica en la medida en que consideraba que el lenguaje de la ciencia debía alejarse del uso *acrítico* y vago del lenguaje ordinario. Esta inteligibilidad y precisión debía ser, para Locke, la marca distintiva del lenguaje científico, no la utópica pretensión de conocimiento. La búsqueda de definiciones más precisas basadas en la experiencia, y en particular en la historia natural, así como el establecimiento de convenciones acerca del uso de los términos, deberían ayudar a establecer distinciones útiles. Si bien la ciencia no puede ser una ciencia derivable de primeros principios indubitables, es una guía importante en nuestras acciones.

Así como la observación de la coexistencia regular de diferentes propiedades es la base para inferir las sustancias que existen detrás de las apariencias, y la observación de los cambios constantes de las ideas simples nos asegura la existencia de poderes en los cuerpos que producen estos cambios, de la misma manera, según Locke, la existencia de una regularidad podría atribuirse a una ley que produce esas regularidades. Las "conexiones y dependencias" de esas leyes no podemos descubrirlas en nuestras ideas, todo lo que podemos tener es un "conocimiento experimental" de ellas.

Así, para Locke, hay tres tipos de conocimiento. El conocimiento *a priori* que puede obtenerse en ciencias como la ética y la geometría; las teorías de las ciencias naturales en las cuales la certeza está más allá de nuestras posibilidades y en las cuales *debemos* contentarnos con hipótesis, probabilidades y aproximaciones; y finalmente el tipo de conocimiento práctico, descriptivo, de la historia natural, que trata de fenómenos que podemos observar pero que no sabemos cómo son en realidad. Puesto que el conocimiento cierto no nos es accesible

a través de nuestras experiencias, es necesario recurrir a algún otro tipo de entendimiento que guíe nuestra conducta. Dios, dice Locke, nos ha concedido "sólo la penumbra de la probabilidad, por así decirlo", adecuada a "este estado de probación y mediocridad en el que él nos ha querido poner" (*Ensayo*, p. 652).

De la misma manera en que se puede inferir de las propiedades observables sustancias y poderes, Locke está convencido de que siempre estaremos a oscuras respecto a las leyes que están detrás de las regularidades de la naturaleza. Las leyes, según Locke, operan en el nivel de la constitución *corpúscular*, y, en este sentido, él parece pensar en las leyes como leyes fundamentales, esto es, como leyes universales en el sentido de que se aplican por igual a los elementos más simples de la realidad: los corpúsculos. Lo que percibimos, las regularidades de la experiencia, son, a lo más, leyes *fenomenológicas*, leyes que describen una regularidad pero que no dicen nada acerca de las conexiones necesarias entre nuestras percepciones, algo que debería ser posible alcanzar en el nivel ontológicamente fundamental: el nivel *corpúscular*.

§ 2. HUME Y EL PENSAMIENTO PROBABILÍSTICO

Locke no pretendió cuestionar la existencia de las leyes de la naturaleza, sino su accesibilidad epistémica. Hume, en cambio, fue más escéptico respecto a la existencia misma de las leyes de la naturaleza, puesto que, según él, ninguna regularidad podía analizarse en términos de conexiones necesarias que existen en la naturaleza independientemente de nosotros. Pero, entonces, ¿de dónde surge la autoridad epistemológica de las leyes en las explicaciones científicas? ¿Cómo podemos explicar un suceso mostrando que forma parte de una regularidad si, como ya lo hizo ver Leibniz, hay muchas maneras artificiales de incorporar un suceso en una regularidad? Hume dejó sin resolver ese problema. No pareció preocuparse demasiado porque quizás pensó que la ciencia no es muy diferente del resto de nuestras creencias. Su valor solamente puede medirse en relación con su utilidad para guiarnos en la vida, no en términos de certeza o cercanía a la certeza.

Hume es conocido por su análisis tanto epistemológico como psicológico del razonamiento probabilístico. Es el primer filósofo que trató de incorporar los avances que tuvieron lugar en los siglos XVII y XVIII en la comprensión del razonamiento probabilístico. Para ello, Hume partió de la distinción tradicional entre el conocimiento y la opinión. El conocimiento se obtiene de primeros principios que describen las causas o las leyes que operan en la naturaleza. La certeza de que goza este conocimiento se deriva de la supuesta necesidad de las leyes de la naturaleza que operaban en el nivel fundamental de la realidad. Esta

separación tajante entre el conocimiento de causas y la mera opinión continuó siendo aceptada entre los filósofos, como Locke y Leibniz, así como entre los matemáticos que empezaron a desarrollar el cálculo de probabilidades y sus aplicaciones al razonamiento inductivo en el siglo XVII. En Hume esta distinción tajante se debilitó por lo menos en un sentido importante.

Hume cuestionó la actitud optimista de Bernoulli y otros probabilistas respecto a que la teoría de la probabilidad debería verse como un sustituto del método demostrativo. Por el contrario, Hume consideraba que sólo la aritmética era fuente de conocimiento cierto, porque las verdades de la aritmética eran todas derivables de relaciones entre las ideas. Cualquier otro conocimiento era conocimiento de hechos, y éste involucraba siempre inferencias causales que volvían incierto el conocimiento. Hume analizó este concepto implícito de causa desde diferentes perspectivas; su conclusión fue siempre la misma: la razón no cumple un papel importante en las inferencias causales y, por lo tanto, debemos abandonar la pretensión de explicar mediante la subsunción de los fenómenos a leyes.

El análisis que Hume hizo de la causalidad se basó en la teoría de las ideas que era común en el siglo XVII y a la cual nos hemos referido brevemente en relación con Locke. Esta teoría presupone que hay un discurso mental anterior al discurso público que se da a través del lenguaje. Nuestra mente recibe impresiones de las cosas y las reagrupa en la mente como ideas. Así, el análisis de Hume de la causalidad se inició con una búsqueda de las impresiones originales que podían dar lugar a nuestras ideas de causa y efecto. Hume argumentaba que no podíamos llegar a tener una idea de una relación causal sobre la base de una sola observación; a lo sumo, una observación podía darnos la idea de la contigüidad de dos sucesos, pero nunca la idea de una relación causal entre los dos. Así, la primera vez que tomamos aspirina y sentimos que nuestro dolor de cabeza se alivia no tenemos una idea de una relación entre causa y efecto, sino sólo de una sucesión temporal.

Como base de su análisis, Hume sostuvo la existencia de tres ingredientes básicos de la noción de causa: (i) contigüidad en el espacio, (ii) prioridad en el tiempo, y (iii) conexión necesaria. Las primeras dos pueden observarse en cada caso, pero la tercera no. Y por ello, dice Hume, no podemos basar una relación causal en los informes de una única impresión. Sólo porque hemos observado en el pasado que tomar aspirina va asociado a una cura del dolor de cabeza, creemos que lo hará en el futuro. La idea de necesidad no es algo que esté en el mundo, o en todo caso no tenemos razón para creerlo así, pero es algo presente en la mente que nos hace relacionar un suceso con otro. Así pues, una inferencia causal sigue el patrón siguiente:

Todo A observado ha sido seguido por B
A ha sido observado ahora
Por ello, un B va a ocurrir

Esto es, cuando los dos primeros enunciados de nuestra experiencia son verdaderos, creemos que un B va a ocurrir. De acuerdo con Hume, esto es sólo una descripción de lo que sucede en adscripciones causales. No se trata de un estudio epistemológico, porque la cuestión de si es correcto extraer la conclusión de las premisas no se ha tocado. Hume opina que para fundamentar esa inferencia habría que agregar una premisa al argumento, un principio acerca de la uniformidad y regularidad de la naturaleza. Sólo si estuviéramos seguros de que hay una ley de la naturaleza que garantizara que un B sigue a todo A, estaríamos en lo correcto al extraer la conclusión anterior. Sin embargo, no tenemos razón para creer en la existencia de este principio. Está claro que no es lógicamente necesario, pues con facilidad podemos concebir que el futuro sea muy diferente del pasado. Queda claro que tampoco podríamos fundamentar este principio en un cálculo de probabilidades, pues cualquier respuesta de este tipo supondría ya la uniformidad de la naturaleza. Sólo porque la naturaleza ha sido uniforme en el pasado, podemos decir hoy que es probable que lo sea en el futuro. Sólo porque hemos detectado una cierta frecuencia con la que un suceso B sigue a un suceso A, atribuimos probabilidades al enunciado "B sigue a A", pero no tenemos razón alguna para pensar que éste es el resultado de un principio en la naturaleza.

A partir de este análisis Hume llega a una posición escéptica; según él, la razón no desempeña ningún papel importante en las inferencias causales. No es la razón, sino la "imaginación" y ciertas disposiciones naturales de la mente, las que nos inclinan a hacer la transición de lo observado a lo no observado. Esto significa que Hume llevó a su conclusión lógica una argumentación que, como vimos, había principiado con la filosofía empiricista y con la distinción (realizada por Descartes, Leibniz y Newton) entre el nivel racionalmente inteligible pero epistémicamente inaccesible de la realidad corpuscular subyacente, y los fenómenos, lo accesible a la experiencia sensorial. Hume no sólo incluyó que no podíamos tener conocimiento de las leyes que rigen el movimiento de los corpúsculos, como concluyó Locke, sino que no podíamos tener conocimiento de ninguna inferencia causal. Por lo tanto, según Hume, no podemos considerar que las probabilidades reflejen un principio fundamentado en razones para la acción. Lo que para Locke era penumbra, para Hume fue oscuridad plena.

Bernoulli y Locke, y muchos otros filósofos del siglo XVII, aceptaban que no podíamos tener conocimiento verdadero de las ciencias empíricas, pero que podíamos emplear las probabilidades como un buen segundo método racional.

Hume fue más lejos. Él aplicó el mismo tipo de análisis crítico al razonamiento probabilista que sus antecesores habían aplicado al conocimiento de causas o leyes en el sentido de Locke, y llegó a una conclusión escéptica más radical.

§ 3. PROBABILIDAD Y CAUSALIDAD EN HUME

El azar para Hume, como para sus contemporáneos, es sólo aparente. Hume diría que la idea de azar no puede referirse a impresiones originales y que por lo tanto es un término vago. El azar, según Hume, era la negación de la causa: consistía en la indiferencia total respecto a las posibles alternativas de un proceso o suceso. Después de caracterizar el significado del azar, Hume planteó nuevamente la pregunta que ya había planteado en relación con las inferencias causales. Se preguntó si un análisis en términos de alternativas equiprobables podía justificar la creencia en el resultado favorecido. Por ejemplo, tomemos un dado que tenga en cuatro de sus lados el número uno, y en las otras dos caras otro número, digamos el dos. ¿Tenemos justificación en ese caso para creer que el uno tiene más posibilidades de aparecer que el dos? Hume pensaba que no teníamos ninguna justificación para esa creencia. Puesto que no podemos saber con certeza cuál va a ser el resultado, recurrir a la probabilidad es entrar en un círculo vicioso. A este tipo de probabilidad la llama Hume probabilidad de lo azaroso. Lo que Hume mostró con un ejemplo como el anterior es que muchas creencias respecto a ese tipo de probabilidad no podían fundamentarse en razones.

Hume consideró un segundo tipo de inferencias probabilistas que para él era más importante: las inferencias que parten de probabilidades de causas. Hay varias fuentes posibles de este tipo de probabilidad. Una de ellas proviene de lo que Hume llamó "experiencia imperfecta", que se presenta cuando hemos observado algunos o varios casos de conjunciones consistentes entre dos sucesos, pero no los suficientes como para tener la seguridad de que haya un nexo causal entre ellas. Todas las expectativas causales se derivan de un reforzamiento de este tipo de probabilidad. La otra fuente posible de probabilidades de causa proviene de lo que Hume llamó la coherencia en la experiencia. Con esto Hume se refería a la experiencia de aquellos casos en que la causa no sigue siempre al efecto acostumbrado. La aspirina cura el dolor de cabeza, pero no siempre.

Hume pensaba que ambos tipos de probabilidades (las probabilidades de lo azaroso y las probabilidades de causa) eran producto de la acción de un mecanismo mental que traducía las experiencias pasadas a una escala numérica. La mente trae a colación las experiencias pasadas, para predecir un futuro incierto, en dos etapas. Primero hacemos del pasado un canon para el futuro. En segundo

lugar examinamos las frecuencias de las observaciones pasadas y el resultado se convierte automáticamente en creencias. Así, para Hume la mente es una máquina contadora de frecuencias muy eficiente que automáticamente traduce esas frecuencias a grados de creencia en una asociación de ideas. La fuerza de la asociación determina, a su vez, la facilidad con la que hacemos inferencias causales. Las imágenes de experiencias pasadas van aumentando la vivacidad de una impresión mental, cada repetición es "como una nueva pasada del lápiz" que le da una viveza mayor a los colores. Hume pensaba que esta correlación entre frecuencias y creencias era algo que hacemos instintivamente, por costumbre, no necesariamente de manera racional.

El análisis de Hume de la causalidad y la probabilidad se basó en la idea de que ambas debían responder a un mismo tipo de evidencia, esto es, frecuencias de casos observados. La evidencia, para Hume, es lo que en la tradición jurídica se conocía como *evidencia interna*, que es la evidencia de los casos repetidos de ocurrencias similares. Algo muy importante para la teoría de Hume, que en retrospectiva debe verse como un avance importante en el proceso de incorporación de las probabilidades a la epistemología, es que esta manera de entender la evidencia es cuantificable. Para los probabilistas del siglo XVII, incluido Locke, la probabilidad podía (y debía) responder a dos tipos de evidencia: por un lado, a las frecuencias, a la evidencia interna; por el otro, a la evidencia externa, a lo que se llamaba *el peso de la prueba*, y que a grandes rasgos consistía en la evaluación, por parte de un experto, de la *calidad* de la evidencia. Este sentido de la evidencia era, por definición, no cuantificable.

La reducción del razonamiento probabilista a un mecanismo mental de conteo de frecuencias es una de los aspectos más significativos de la "naturalización" de la epistemología por la que Hume es famoso. El subtítulo del *Tratado de la naturaleza humana* es: *un intento por introducir el método experimental del razonamiento en cuestiones morales*. La extrapolación del método newtoniano a las ciencias morales es explícita y decidida en Hume. Hume pensaba que, de manera análoga a como Newton había procedido en la física, en las ciencias morales debíamos buscar principios simples y generales a partir de la experiencia y evitar hablar de aquello que no se fundamentara en esos principios. En las ciencias morales los experimentos están limitados al resultado de la observación cuidadosa de la vida humana; pero, según Hume, los astrónomos no estaban en mejor posición que el filósofo en este sentido, y las ciencias morales podían fundamentarse sobre ese tipo de observaciones tan bien como lo hacía la astronomía.

El uso de la metodología newtoniana en la filosofía de Hume fue más allá de esa analogía metodológica. Los elementos básicos de la experiencia humeana son las "percepciones simples", que cumplen un papel similar al de los átomos

en la teoría de la materia de Newton y Locke. El principio de la asociación de las ideas, que Hume consideró su contribución más importante a la filosofía, es "un tipo de atracción que en el mundo mental encontramos que tiene extraordinarios efectos, como en el natural" (Tratado, p. 12). Esta analogía se hace más profunda con la interpretación de las probabilidades como frecuencias y con la similitud entre ese mecanismo mental de conteo de frecuencias, que poseemos como parte de nuestra naturaleza humana no racional, y la fuerza de la gravitación. El grado de atracción entre dos cuerpos está dado por una fórmula inateórica que cuantifica esa fuerza. De manera análoga, el grado de asociación de dos ideas depende, en última instancia, del mecanismo mental para el conteo de frecuencias que mencionamos anteriormente. Hume desarrolló todavía más esta analogía mediante la distinción entre probabilidades filosóficas y no filosóficas.

Las probabilidades filosóficas constituyen los fundamentos razonables de la creencia y la opinión, mientras que las probabilidades no filosóficas surgen de distorsiones en nuestros mecanismos psicológicos asociados con la evaluación de la evidencia. Por ejemplo, si hay un tiempo relativamente largo entre dos sucesos, esto tiende a disminuir el impacto en nuestro conteo de frecuencias y, por lo tanto, a deformar la probabilidad que deberíamos asociarle. De manera similar, una experiencia reciente y fresca en la memoria nos afecta más que otra que de alguna manera se ha desvanecido. Así, dice Hume, sentimos que la probabilidad de morir aumenta cuando vemos morir a alguien cercano. E incluso general los prejuicios y el hábito, afirma Hume, tienden a distorsionar las frecuencias y a generar probabilidades no filosóficas.

La concepción de Hume acerca de la probabilidad fue la primera formulación de la interpretación frecuentista de la probabilidad. Sin embargo, no sería sino varias décadas después de formulada, cuando la idea central de Hume tomaría fuerza en la medicina, en la física, en la meteorología y otras ciencias aplicadas, de manera más o menos simultánea y rápida, por razones que no tienen que ver con la filosofía. La interpretación frecuentista de la probabilidad es una manera en la que el azar empieza a tomarse en serio como una dimensión de lo objetivo, aunque es importante notar que la teoría clásica de la probabilidad se asocia con el desarrollo de una metodología que distingue entre causas "regulares" e "irregulares", mediante la cual se asume el determinismo del mundo.¹

Durante el siglo XVIII, la búsqueda de la manera adecuada de relajar el patrón de explicación apropiado para la ciencia se llevó a cabo por medio del desarrollo de la teoría clásica de la probabilidad. Se consideraba que los métodos estadísticos desarrollados a partir de la teoría clásica de la probabilidad constituían esa teoría relajada de la demostración apropiada para la ciencia. Todo este

Esta concepción de las probabilidades, en cuanto a que se refieren a algo objetivo en el mundo, alcanza su cima en la segunda mitad del siglo XIX, pero hay antecedentes muy importantes en los escritos de Bernoulli y otros matemáticos del siglo XVIII, así como en su uso en medicina. Esto no fue casual; pues fueron los médicos de los centros urbanos de Europa quienes empezaron a preocuparse por formular certificados de defunción que permitían obtener información estadística acerca de las causas de la muerte. Esto llevó a una discusión acerca del concepto de causalidad y de probabilidad que posteriormente se extendió a la física y a la biología. En la tercera parte de este libro veremos cómo la historia de la consolidación de la teoría de la evolución biológica, en la segunda mitad del siglo XIX, tuvo que ver con este proceso de objetivización del azar. Veremos también cómo las categorías del azar y lo contingente se encuentran asociadas con el desarrollo de nuevos patrones de explicación en la ciencia. Patrones que van más allá del patrón de explicación por leyes del que hemos hablado hasta ahora, pero que sólo empieza a cuestionarse explícitamente, como patrón único de explicación en la ciencia, en el siglo XIX.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

El tema de la interpretación de las probabilidades durante los siglos XVII y XVIII se analiza ampliamente en el libro de Lorraine Daston, *Classical Probability in the Enlightenment*, Princeton, Princeton University Press, 1988. Una introducción al pensamiento de Hume se encuentra en Hume, de Barry Stroud, traducción al castellano de Antonio Ziri6n, publicado por el Instituto de Investigaciones Filos6ficas, UNAM, 1986 (2a. ed. 1995).

proyecto estaba ligada al supuesto metafísico de que había causas fundamentales, "regulares", como se dice a partir de Laplace, descritas por las leyes de la naturaleza, y causas "irregulares". cuyos efectos eran simétricos y tendían a cancelarse con el desarrollo de observaciones más precisas. Se pensaba, pues, que las observaciones científicas permitían ir eliminando las causas irregulares y generando conocimiento de las causas regulares que reflejan la operación constante y perenne de la naturaleza. De esta manera se pensaba que los métodos probabilistas eran el método de la ciencia, y que todas las aplicaciones de la teoría de la probabilidad eran en el fondo una búsqueda de causas.

TERCERA PARTE

INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores vimos dos aspectos muy importantes de **la** revolución científica que **culmina** en el siglo XVII. Uno de ellos es la tensión entre dos concepciones sobre las leyes, ya sea como leyes **inmanentes** que rigen el comportamiento de las sustancias individuales o como leyes que rigen "desde fuera" el **movimiento** de la materia inerte. Otra es el problema relacionado de **la** inferencia de efectos a causas.

En contra de la visión **inmanentista** de **Aristóteles**, y en contra de su distinción entre Fenómenos terrestres y fenómenos celestes, Descartes hizo explícita la idea de que ambos tipos de fenómenos estaban sujetos a la acción de las **mismas** leyes y debían explicarse mediante las mismas causas; en consecuencia podían considerarse esencialmente del mismo tipo. En Descartes esta síntesis tuvo una justificación **puramente metafísica**: la creencia en una concepción **mecanicista** del mundo. En cambio, la derivación que hizo **Newton** de la ley de la gravitación universal inició un verdadero proyecto científico: las leyes que rigen los fenómenos terrestres pueden verse como casos especiales de las leyes que rigen los fenómenos **celestes**. La inferencia de efectos a causas es, en Newton, **resultado** de un método al que **llama** "deducción a partir de los fenómenos"; **este** método presupone **la** existencia de una estructura matemática a partir de la **cual** se pueden inferir deductivamente los fenómenos **terrestres** y celestes. De esta manera se desarrolla un proyecto que busca explicar las regularidades de los fenómenos que pueden detectarse sobre la superficie de la Tierra en **términos** de leyes de aplicación universal que nos **permiten** modelar matemáticamente las **fenómenos**.

Este proyecto **reduccionista** se extendió a muchas disciplinas durante los siglos XVIII y XIX. La óptica, la hidrodinámica, la teoría de la electricidad y el magnetismo, **la** teoría de gases y la química analítica se formularon de manera tal **que** sus explicaciones consistían en la derivación de los fenómenos a partir de leyes y condiciones iniciales. Estas explicaciones, a su **vez**, constituían una jerarquía en la cual unas leyes eran derivables de otras, y en cuyos **términos** se iban integrando las explicaciones de las diferentes ciencias en un cuerpo **unifi-**

cado de conocimiento. Este proyecto **recibió** su formulación clásica en Un *discurso preliminar* acerca del *estudio de la filosofía natural* de John Herschel, publicado en 1830. **Ahí** Herschel formuló de manera **clásica** lo que se conoce como la **metodología** de la vera causa (causa verdadera). En esta parte del libro, después de algunas consideraciones preliminares, empezaremos con una presentación de las ideas de Herschel acerca de esa metodología. **Posteriormente** veremos **cómo** ese concepto tuvo un papel muy importante en la ciencia del siglo XIX. Nuestro principal ejemplo va a ser la **manera** como Charles Lyell utiliza **el** concepto de causa verdadera para tratar de explicar los fenómenos **geológicos**.

A partir del capítulo 7 veremos **cómo** la teoría de Darwin puede considerarse, por un lado, una aplicación exitosa de la metodología de la causa verdadera o, por otro, como una **terrible malinterpretación** de la **misma**. Darwin la entendía de la primera manera, pero **aquellos** que durante el siglo XIX más habían contribuido a formular lo que parecía su versión definitiva, se inclinaban por la segunda opinión. No es muy importante para mis propósitos tratar de decidir quién tenía razón o en **qué**, me interesa más bien mostrar que el fondo de la discusión **proviene** del hecho de que Darwin incorporó, en su **explicación** de la diversidad de la vida y de las adaptaciones **biológicas**, aspectos eminentemente contingentes de la **relación** de los organismos con su **medio** ambiente. Este tipo de factores, sin embargo, estaban **excluidos** de la ciencia por una serie de argumentos que en el fondo **habían** servido para sustentar la coexistencia pacífica entre la ciencia y la teología en el siglo XIX, sobre todo en Gran **Bretaña**.

En el capítulo 8 analizaré el patrón de explicación narrativa que está implícito en el libro de Darwin y que es un aspecto importante de la estructura conceptual de la biología evolutiva y otras ciencias históricas. Finalmente, en el capítulo 9 examinaré el surgimiento del patrón de explicación **seleccionista**, que surgió como una generalización de las explicaciones por selección natural desarrolladas originalmente por Darwin. Veremos **cómo** estos **diferentes** patrones de explicación contribuyen a una reconceptualización de categorías **epistémicas** fundamentales, como los conceptos de ley, **causalidad** y **explicación**.

6

EL PROBLEMA DE LA INDUCCIÓN Y LA EXPLICACIÓN POR CAUSAS VERDADERAS EN EL SIGLO XIX

Comenzaré presentando de manera muy breve la concepción de la ciencia que John **Herschel** desarrolló en su libro *Discurso preliminar sobre el estudio de la filosofía natural*. Este trabajo de Herschel, como ya lo veremos, es de gran importancia para entender la estructura conceptual y argumentativa de la teoría de la evolución de Darwin a mediados del siglo XIX. Después veremos que a pesar del claro intento de Darwin por **formular** su teoría en el **marco** de la **metodología** de **Herschel**, esa teoría difiere de manera significativa del patrón explicativo newtoniano formulado por Herschel. Este **análisis** va a ser el punto de **partida** de la respuesta que elaboraremos para explicar el **rechazo** inicial que manifestó la **mayoría** de sus **contemporáneos** a la **teoría** de Darwin. De aquí extraeremos algunas lecciones filosóficas. En particular, me interesa **mostrar** que, contra una idea muy difundida, el rechazo de Herschel y de sus contemporáneos a la teoría de Darwin no tiene por qué entenderse como si sus **raíces** se encontraran en cuestiones **metafísicas** o **teológicas**. El rechazo es totalmente entendible en la medida en que la teoría de Darwin no encajaba en el patrón de explicación por leyes **deterministas** que implícitamente **estructuraba** la **metodología** de **Herschel** y de sus contemporáneos.

John **Herschel** (1792–1871) fue uno de los científicos **más famosos** de Inglaterra en el siglo XIX. Su padre, **William Herschel** (1738–1822), fue el descubridor del planeta Urano y uno de **los** más grandes **astrónomos** de su tiempo. **John Herschel** hizo contribuciones importantes en química, pero su **fama** como científico descansa, sobre todo, en sus trabajos sobre la relación entre la **química** y la **óptica**, y sus estudios **astronómicos** de las estrellas dobles que le permitieron, mediante novedosos métodos estadísticos, mostrar cómo estas estrellas obedecían las **leyes** de la mecánica celeste **newtoniana**. Herschel fue, además, uno de los distinguidos seguidores de **Laplace** y un traductor de renombre de obras clásicas, como el *Infierno* de **Dante**, y una **colección** de poemas de **Schiller**. En 1830, John Herschel publicó su *Discurso preliminar* sobre el estudio de **la ciencia natural**, en el cual presenta su versión de la concepción del método **científico**.

co como la búsqueda de explicaciones en **términos** de causas verdaderas (*vera causae*). Según **Herschel**, la ciencia se origina en la observación y en la experimentación; la **experimentación** consiste en la **intervención sistemática** en la naturaleza con **miras** a entender sus leyes. Los *fenómenos* son complejos resultados de la acción de diferentes leyes y para entenderlos es necesario analizar sus componentes. El análisis de los fenómenos consiste, para **Herschel**, en una explicación del fenómeno en términos de las causas descritas por leyes que contribuyen a su **formación**. Para **Herschel**, una ley de la naturaleza es un enunciado que establece lo que va a pasar en ciertas **condiciones** generales o, **alternativamente**, es un enunciado de una conexión invariable.

El patrón de explicación newtoniano, **formulado** de manera canónica en el *Discurso* de **Herschel**, es un patrón de explicación basado en la **derivación** de los **fenómenos** a partir de leyes deterministas jerárquicamente organizadas. Primero **están** las leyes universales que describen las fuerzas **fundamentales** de la naturaleza (la ley de la gravitación universal es el **paradigma** de este tipo de fuerzas), luego hay leyes de menor **alcance** que nos **permiten** explicar las anomalías de los **fenómenos** en relación con esas leyes **fundamentales**, y finalmente hay meras generalizaciones empíricas que no tienen ningún poder explicativo y sólo poseen cierta capacidad de servir como guía heurística en el proceso de establecimiento de las leyes **fundamentales**. Fuera de la búsqueda de las leyes que **encajan** en esa jerarquía establecida, no hay ciencia.

La teoría de Darwin, sin embargo, propuso un tipo de explicaciones muy diferente para dar **cuenta** de la **evolución** de las especies. Además, y esto es lo que tuvo mayor **trascendencia epistemológica**, la teoría de Darwin propuso un **esquema** conceptual radicalmente distinto del newtoniano, en cuyos **términos** se van integrando las explicaciones y se **va** constituyendo la unidad y el carácter de la biología **como** ciencia. La teoría de **Darwin** postuló el **principio** de la **selección natural** como el principal agente causal que explica el origen y la **transformación** de las especies. El de la **selección** natural es un **mecanismo** que actúa sobre **poblaciones** de individuos que varían **entre** sí y que tienen la capacidad de heredar su variabilidad.

Para Darwin, el **método** científico en biología consiste en hacer descansar las explicaciones sobre supuestas causas que actúan **universalmente** en el mundo vivo, y que se tornan científicas en la medida en que **constituyen** un esquema unificador de las explicaciones que se ofrecen para los diferentes tipos de procesos **biológicos**. Éste es un aspecto importante del **concepto** de *vera causa* (o *causa* verdadera) en **Herschel** y **sus contemporáneos**, pero es sólo un aspecto. La discusión del concepto de *vera causa* llevada a cabo por **Herschel**, y el uso que le dio **Lyell** en su teoría del cambio **climático** (también publicada en la tercera década del siglo XIX) van a mostrar los supuestos **implícitos** en el con-

cepto de *vera causa* que tanto **Lyell** como **Herschel** (y la gran mayoría de sus **contemporáneos**) compartían, pero que la teoría de la evolución de Darwin implícitamente rechazaba.

§ I. LOS DIFERENTES MÉTODOS INDUCTIVOS

Comenzaremos con una breve reseña de algunos de los **métodos inductivos** utilizados y discutidos durante los siglos XVII y XVIII. Durante el siglo XVIII, el **reconocimiento** de la falta de rigor **involucrado** en lo que Newton había llamado "deducción de los fenómenos", esto es, el tipo de inferencia **ejemplificado** en sus trabajos, hizo que los **filósofos** naturales prefirieran **hablar** de la **fundamentación** característica de la teoría de Newton como una teoría bien fundamentada **inductivamente**. Pero, ¿qué es una teoría "bien fundamentada inductivamente"? **Hubo una gran divergencia** de opiniones **respecto** a la naturaleza de la **inducción**, cada autor pretendía **con** su propuesta caracterizar el **método** de la ciencia y, **mas precisamente**, caracterizar **de** manera general el método **implícito** en la teoría de Newton que le había permitido pasar válidamente (se pensaba) de los efectos a las causas, de las observaciones particulares de fenómenos al **conocimiento** de las leyes. En la segunda parte del libro estudiamos los distintos intentos por **formular** y fundamentar este tipo de inferencia. **Hablamos**, **el** particular, de los argumentos tipo *regressus* y del **método** de la exclusión de hipótesis. Si **bien** hay diferencias entre esos dos **métodos**, aquí **no vamos** a tratar de elucidarlas pues no son importantes para nuestro propósito.

En Inglaterra, el método de la exclusión de hipótesis era muy conocida como **parte** de la **herencia** de Bacon a la **metodología** científica. En este caso, se consideraba que una hipótesis estaba fundamentada **inductivamente** cuando **podíamos enumerar** las posibles **hipótesis** que explicaban los **fenómenos** y **podíamos** excluirlas todas, sobre la base de observaciones, excepto una. En el capítulo 4 vimos **cómo** este tipo de argumento fue utilizado, sin tener una idea clara de sus límites de aplicación, por **Galileo** y Newton. **Darwin** mismo fue otro científico que utilizó este método de eliminación en su trabajo científico. En uno de sus primeros trabajos, Darwin **trató** de explicar una curiosa **formación geológica** en el valle escocés de Glen Roy, la cual consistía en **vetas** o estratos que seguían un recorrido paralelo a lo largo del valle. **Darwin** introdujo tres **hipótesis** posibles y, después de eliminar dos de ellas, pretendió concluir, si bien con cierta reserva, que la tercera (**la** acción del mar) era la única aceptable. Años después, la **teoría** de los lagos **glaciares** de Louis Agassiz explicó de manera más satisfactoria la **formación geológica** de Glen Roy.

Así pues, el gran problema con este tipo de inferencia es, como hicimos ver anteriormente, la dificultad de saber cuándo tenemos una lista exhaustiva de hipótesis aceptables. Esta puede ser una metodología viable en la física experimental, como Newton lo mostró, pero en ciencias que parten de la observación, como la geología, su uso sólo puede ser más limitado, y fácilmente puede conducir a conclusiones erróneas. Darwin aprendió de su error; como él dice en una carta: "mi error ha sido una buena lección para mí, y no confiaré nunca más en el método de la exclusión" (citado en Hull 1973, véase también la *Autobiografía* de Darwin, tomo 1, p.74).

Otro método era el de la **inducción enumerativa**, que pretendía fundamentar el paso de un cierto número de observaciones a una ley general que incluyera dichas observaciones como casos particulares. Dicho método planteó otro tipo de problemas, mencionados ya por Aristóteles; en particular, no hay manera de acotar las posibles generalizaciones de todas las hipótesis que son congruentes con las observaciones. Otro problema es que muchas veces la manera de describir las observaciones afecta la plausibilidad de las posibles generalizaciones. En todo caso, este tipo de inferencia no lleva a establecer algo con certeza; a lo más, este tipo de apoyo inductivo nos permite establecer la **conclusión** con cierto grado de probabilidad.

Otro método inductivo ampliamente discutido era el de las **hipótesis**. Este método, íntimamente ligado a la tradición cartesiana y corpuscularista en general, fue bastante utilizado en los siglos XVII y XVIII, pero cayó en desuso en el siglo XIX. Según este método, cualquier hipótesis compatible con los datos es probable. El problema era que no se tenía una manera de medir la probabilidad de una hipótesis con respecto a la evidencia, y por lo tanto no era posible discriminar entre diferentes hipótesis. Este problema constituyó uno de los principales estímulos para el desarrollo de los métodos estadísticos en la evaluación de hipótesis en el siglo XIX.¹

Por último, desde los griegos, uno de los métodos inductivos preferidos por los científicos, sobre todo en las ciencias de la vida, había sido el **analogico**. Este método permite establecer inferencias de lo conocido a lo desconocido y, por lo tanto, de efectos a causas, sobre la base de la similitud entre cadenas causales. Si, por ejemplo, un efecto y su causa son conocidas (esto es, observables), y otro efecto similar al observado se conoce, entonces es posible inferir una causa similar a la causa observada del primer efecto. Éste era un método de inferencia ampliamente utilizado por los filósofos presocráticos, por Aristóte-

¹ En el siglo XX, la cuantificación de la probabilidad de una hipótesis en relación con la evidencia vuelve a constituirse con Rudolf Carnap en la formulación paradigmática del problema de la inducción.

les y por muchos científicos hasta nuestros días. El problema que plantea es que si pensamos que la ciencia consiste en conocimiento cierto, entonces el método por analogía no puede servirnos para establecer conocimiento científico. No podemos inferir con certeza a partir de una analogía, como Hume lo mostró con una cuidadosa argumentación. Aspectos importantes de este método se rescatan en las explicaciones narrativas de las que hablaremos en el capítulo 8. Después de esta breve reseña de algunos de los métodos inductivos más comunes en los siglos XVII y XVIII, pasaremos a hablar del método (más bien, del tipo de método) de la vera **causa**. Éste es el tipo de método inductivo desarrollado durante los siglos XVIII y XIX y cuya fuente de inspiración proviene de la idea de Newton de que era posible "deducir" causas a partir de los fenómenos.

§ 2. NEWTON Y EL ORIGEN DEL CONCEPTO DE VERA CAUSA

Newton había sugerido una manera de entender el concepto de apoyo inductivo que se requería para establecer que una teoría era científica. Su propuesta está implícita en la formulación que hizo del método científico en tanto que reglas del razonamiento en el libro III de los *Principios matemáticos* (véase el capítulo 4, § 4). La regla I dice que "no debemos admitir más causas de las cosas naturales que aquellas que son a la vez verdaderas y suficientes para explicar sus apariencias". A esta regla, conocida sobre todo por los escritos del filósofo escocés Thomas Reid (1710–1796), se la identificó como la regla de la causa verdadera (la regla de la vera **causa**).

En la regla III, Newton utiliza la distinción entre dos tipos de propiedades para aplicar esta regla de razonamiento en la **mecánica** (véase el capítulo 4, en particular § 3, de este libro). En esta regla Newton señaló implícitamente que las propiedades universales de los cuerpos eran aquellas propiedades de la materia que a pesar de no ser observables eran "derivables de los fenómenos", en el sentido de que eran agregativas, esto es que las propiedades del todo son la suma de las propiedades de las partes. Así, aunque no podemos observar directamente la impenetrabilidad o la extensión de las partículas elementales, podemos deducir su existencia de los fenómenos, ya que podemos observar la impenetrabilidad o la extensión de los cuerpos constituidos por esas partículas elementales. La derivación newtoniana de la ley de la **gravitación** universal utilizaba la idea de que la gravitación era una propiedad universal de todos los cuerpos. Por ello, la ley de la gravitación es la **descripción** cuantitativa de una fuerza de interacción deducible de los fenómenos, pues se trata de una propiedad universal que, en el caso de situaciones experimentales sobre la superficie

de la Tierra, **está** al alcance de nuestros **experimentos** y **observaciones**, por ejemplo, **en** el caso de la caída libre, el **movimiento pendular**, etcétera.

Un problema **importante** en la filosofía británica del siglo XVIII fue la búsqueda de una **reformulación** de esta idea de apoyo inductivo de Newton, de manera tal que fuera aplicable a otras ciencias en las que no era posible sustentar la idea de apoyo **inductivo** en el concepto de "propiedad universal".

Para Reid, uno de los filósofos más importantes contemporáneo de Hume, una causa que puede ser deducida de los **fenómenos** es una *vera causa*, una causa que **sabemos** que existe, **no** una mera causa hipotética cuya **existencia sólo conjeturamos**. Reid **ejemplificó** la **diferencia** comparando la teoría de los vórtices de Descartes con la teoría de la gravitación de Newton, **en** tanto que explicaciones **alternativas** de los **fenómenos**. Reid señaló que la teoría de Newton ofrecía una mejor explicación que la de Descartes porque las órbitas de los planetas, que explica la teoría de los vórtices, es la única evidencia en favor de esa teoría, **mientras** que hay muchas más pruebas **en** favor de la existencia de la **fuerza** de gravedad. **Podemos** saber de la existencia de la fuerza de la gravedad por nuestra experiencia con péndulos, planos **inclinados**, **ejemplos** de caída libre, **etcétera**. Según la **metodología** de la *vera causa*, una teoría **está** bien fundamentada cuando los **entes teóricos** que **postula** constituyen una *vera causa* de los fenómenos que explica la teoría.

En el *Discurso*, Herschel hace explícitas las siguientes **condiciones** que una teoría de causas verdaderas debe **satisfacer** para ser considerada satisfactoria. En primer lugar, debemos asegurarnos de que la causa en cuestión es una causa **realmente existente**, esto es, que sus efectos son accesibles a la observación. Tiene que demostrarse también la **adecuación** de la causa para generar el tipo de **fenómenos** y la **magnitud** del efecto que se pretende explicar, esto es, tiene que establecerse que esta causa es la **responsable** principal de los hechos y que, **además**, es **capaz de unificar** una serie de hechos **aparentemente** disimiles bajo un mismo tipo de **explicación**, apelando a la **misma** causa. Esta **condición** también **llegó** a reformularse como el requisito de que la causa fuera **independiente** del efecto. La **explicación** de los vórtices de Descartes, por ejemplo, no es una **explicación** independiente del efecto. Este patrón de explicación iba a extenderse a otras disciplinas científicas a lo largo del siglo XIX. En la siguiente **sección** elaboraremos este concepto de *vera causa*.

§ 3. LA METODOLOGÍA DE LA *VERA CAUSA* Y LA EXTRAPOLACIÓN DEL PATRÓN DE EXPLICACIÓN POR LEYES A LAS CIENCIAS HISTÓRICAS

Vimos en capítulos anteriores que el patrón de explicación por leyes comenzó aplicándose en la óptica. Galileo y Kepler utilizaron las leyes de la óptica para explicar lo que **se** observaba a través del telescopio. Se dio por sentado que **las** leyes de la **óptica** tenían validez universal y que, por lo tanto, los **experimentos** sobre la Tierra **establecían** las propiedades de la luz **en** todo el universo. Posteriormente Newton **extendió** este patrón de explicación a la mecánica celeste. **Las** leyes de la **mecánica** son universales, por **consiguiente**, las propiedades de la gravedad que podemos detectar sobre la superficie de la Tierra establecen las propiedades **gravitacionales** de los cuerpos en todo el universo. Esto nos lleva a plantear la siguiente pregunta: **¿podemos** generalizar este patrón de explicación en términos de leyes universales que describen *causas verdaderas* a otras disciplinas? Esto requeriría la **formulación** de criterios que nos permitieran decidir cuándo tenemos una explicación por medio de causas **verdaderas**.

En el *Discurso* (capítulo VI), Herschel pone tres **ejemplos** del uso de la idea de **causa** verdadera para discriminar entre explicaciones. Los dos primeros provienen de la **geología**, el tercero de la astronomía. El primer **ejemplo** es el siguiente:

El **fenómeno** de las conchas que se encuentran en las rocas a una **gran** altura sobre el **nivel** del mar ha sido atribuido a muchas causas. Algunos lo **han atribuido** a la virtud plástica del suelo; otros lo atribuyen a la **fermentación**; otros a la influencia de los cuerpos celestes; otros al paso de peregrinos concheros de ostras; otros a **pájaros** que se **alimentan** de inariscos; y todos los geólogos contemporáneos, al **unísono**, a la vida y la muerte de **moluscos** reales en el fondo del mar, y a la subsecuente alteración del **nivel** relativo de la tierra y del **mar**. De estas causas posibles, la **virtud plástica** y la influencia celeste son **meras fantasías**. El transporte casual de los peregrinos es una **causa verdadera**, y tal vez **dé** cuenta de la presencia de una que **otra concha** aquí y **allá**, botada en pasajes **muy** frecuentados, **pero no** es **suficientemente extensa** para los propósitos de la explicación. La fermentación suele **ser** una causa real, en **tanto** que **tal** cosa existe; pero no es una causa real (verdadera) de la **producción** de una concha en una roca, puesto que tal efecto nunca ha sido observado, y las rocas y las piedras no se **fermentan**. Por otro lado, que una ostra se muera y que su concha se quede enterrada en el barro del fondo marino es algo que sucede a menudo; y la elevación del fondo del **océano** hasta convertirse **en** tierra sobre el nivel del **mar** ha sido **realmente** observada muchas veces, y en una escala tal que nos **permite** calificar a esta causa de una **vera causa** y ponerla a la **disposición** de una filosofía correcta. (Herschel 1830, p. 145)

Éste es un ejemplo vívido de cómo el concepto de causa verdadera puede utilizarse para discriminar entre explicaciones. El siguiente ejemplo es mucho más importante para entender el concepto de *vera causa* o causa verdadera, y la razón de su importancia como **guía** metodológica e ideal regulativo en las explicaciones de algunas disciplinas científicas. Herschel partió del hecho "ampliamente reconocido por los geólogos" y derivado del examen de restos de animales y vegetales de otras épocas atrapados en los estratos, de que había habido cambios en el clima de grandes partes del planeta, y en particular una disminución de la temperatura promedio del planeta. Nuevamente Herschel menciona las posibles causas de este fenómeno que se discutían en su tiempo: algunos consideraban que el globo terráqueo se estaba **enfriando** gradualmente; otros consideraban como causa posible la actividad de los volcanes primitivos, mucho mayor que la de los **volcanes** actuales. Pero ninguna de estas causas, afirma Herschel, puede considerarse una causa real en el sentido de "causa verdadera". No sabemos si el planeta se ha enfriado a partir de una fusión primitiva, ni sabemos si la supuesta mayor actividad de los volcanes primitivos haya tenido lugar. En cambio, dice Herschel, una causa que satisface los requisitos de una *vera causa* ha sido sugerida por Lyell, quien había propuesto un poco antes que la causa de la variación del clima era la influencia variable de la distribución de océanos y tierra **firme** en la superficie del globo terráqueo. Un cambio de tal distribución, en un lapso muy prolongado, que supusiera el hundimiento de viejos continentes y el surgimiento de otros nuevos, podía tomarse como un hecho comprobado **empíricamente**. La observación comprobada del **hundimiento** y la elevación de porciones del globo terráqueo podía extrapolarse y por lo tanto permitiría considerar la causa propuesta por Lyell como una *vera causa*, por lo menos tentativamente hasta que un examen más cuidadoso de la cuestión pudiera **llevarse** a cabo.

Los dos ejemplos anteriores de Herschel fueron tomados de la teoría del **cambio climático** de Charles Lyell, que **fue** presentada en su obra en tres tomos, *Principios de geología*. El primer tomo apareció en 1830, el mismo año en que se **publicó** el libro de Herschel (si bien ambos sabían del trabajo del otro desde varios años antes). El tercer **ejemplo** de Herschel, en cambio, proviene de la astronomía. Herschel señaló que una *vera causa* astronómica posible, que podía contribuir a la explicación de los cambios climáticos era el hecho astronómico de la disminución de la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Esta disminución de la excentricidad se expresa en el aumento del eje menor de la elipse descrita por la Tierra **alrededor** del Sol (dado que el eje mayor permanece constante). Herschel supuso que la cantidad de luz solar que incidía sobre nuestro planeta determinaba el clima de la Tierra, y en particular la temperatura promedio. Asimismo, mostró que la cantidad de luz solar pro-

medio que la Tierra recibía era inversamente proporcional al eje menor de la elipse que describe alrededor del Sol y, por lo tanto, que la cantidad promedio anual de la radiación solar estaba decayendo. Herschel concluyó de este razonamiento que la disminución de la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del Sol era una *vera causa* de suficiente universalidad como para dar cuenta del fenómeno del cambio del clima. Su adecuación — señala Herschel — es otra cuestión que tiene que decidirse por separado (un tema al que Herschel le dedicó un trabajo presentado en la "Sociedad Geológica" fundada y dirigida por Lyell).

Lyell pensaba que el clima consistía en un proceso **cíclico**, y las causas verdaderas en las que Lyell estaba interesado eran causas que podían apoyar tal interpretación de la evidencia. Sin embargo, la excentricidad de la órbita **como** causa verdadera iba en contra de esta teoría de Lyell y en favor de sus **oponentes**, quienes creían que los cambios del clima eran en gran medida producto del enfriamiento de la Tierra y, por lo tanto, no cíclicos.

La causa a la que más comúnmente se recurría para explicar este **enfriamiento** era la pérdida del calor del interior de la Tierra. Lyell argüía que ésta no era una "*causa verdadera*", porque no era observable de manera independiente del efecto. Pero la excentricidad de la Órbita de la Tierra alrededor del Sol, señalada por Herschel, si era un candidato a *vera causa* que Lyell tenía que considerar legítimo. Lyell estuvo preocupado por esta alternativa sugerida por Herschel, hasta que encontró un comentario de Humboldt (escrito en 1820) en el que afirmaba que la temperatura desigual de los dos hemisferios no se **debía** tanto a **la** excentricidad de la órbita, como a la división desigual de los continentes. Esto dio razones a Lyell para pensar que la causa verdadera de Herschel no era adecuada para explicar los cambios climáticos, porque la causa no puede explicar la magnitud del efecto.

De aquí Lyell pasó a la tesis central de sus Principios: las variaciones en geografía física son un buen candidato a causa verdadera, que podría explicar todos los cambios climáticos e incluso cambios en la distribución de las especies biológicas, sin necesidad de apelar a causas que no podían ser observadas directamente, como el calor central del interior de la Tierra o cambios **astronómicos** de largo plazo como el sugerido por Herschel. Nótese que, **implícitamente**, Lyell explicaba el origen de las especies y del clima como si tuvieran una causa común: la geografía **física**. De acuerdo con el tipo de explicación que apoyaba este tipo de causa, Lyell no pretendía explicar el **origen** de las especies en un sentido histórico propiamente dicho (como Darwin lo haría). Lyell se **refería**, más bien, a que el cambio **físico** (la distribución de las masas **geológicas**) explicaba el recambio de las especies de ese hábitat; ello ocurría porque existían ciertas presiones para la transmigración de las especies a aquellos **hábitat** más adecuados para ellas, aunque no se excluía la posibilidad de la creación

de especies en caso de que esto fuese necesario para mantener el equilibrio del plan divino.

Después de formular su teoría del cambio climático, el optimismo de Lyell no tenía límites; pensaba que era sólo cuestión de tiempo que volvieran a pastar elefantes en Inglaterra o que crecieran helechos en el polo. Era sólo cuestión de esperar a que las masas terrestres alcanzaran cierta configuración. Irónicamente, el empirismo de Lyell lo había llevado a una teoría que tenía mucho de la astrología: dime la configuración de las masas terrestres y seré capaz de predecirte el clima y de decirte qué animales y que plantas viven en los diferentes lugares.

Los esfuerzos de Lyell por encontrar leyes que relacionara la posición de las masas terrestres con la distribución de la flora y la fauna del mundo tuvieron mucho eco en su tiempo. A pesar de que varios de sus contemporáneos compartían con Herschel su escepticismo acerca de la pretensión de Lyell de haber hallado las leyes que correlacionan el clima con el origen y la extinción de las especies en un hábitat determinado, como resultado de una causa física común, la gran mayoría de sus contemporáneos estaban de acuerdo en que éste era el tipo de leyes que debían buscarse, y que este tipo de explicaciones del origen y la extinción de las especies era el único tipo de explicaciones científicamente aceptables.

Las leyes de Lyell satisfacían los cánones epistemológicos que en la tradición newtoniana se pensaba que debían satisfacer las correlaciones entre fenómenos para ser consideradas leyes en las ciencias no físicas. El tipo de ley propuesta por Lyell era mecanicista en tanto que formulaba una explicación de los cambios en la distribución de las especies, y por lo tanto de su origen y extinción en un hábitat, en cuanto a regularidades que dependían de la posición y el movimiento de las masas terrestres, de manera análoga a como Newton describía un proceso mecánico en términos de la posición y el movimiento de los cuerpos constituyentes.

Pero si bien en el caso de las explicaciones mecanicistas del movimiento de los cuerpos hay medios para explicar de manera uniforme las regularidades que encontramos en este tipo de movimiento, en términos de las partículas que los componen, en el caso de la explicación de Lyell no hay tal reducción que pueda ayudar a aclarar el problema del origen de las especies. El uniformismo de Lyell en geología parte del supuesto de que el mundo pasa por ciclos, unos muy largos y otros muy cortos, pero que esencialmente es estático; los seres y las cosas aparecen y desaparecen de nuestra vista, pero la ontología del mundo es siempre la misma: las fuerzas que van produciendo las diferentes eras geológicas y su flora y fauna correspondientes. Como dice Lyell en una carta de 1830, preguntarse acerca del origen de la vida más allá del establecimiento de esas corre-

laciones entre los tipos de flora y fauna y las circunstancias geológicas "es una pregunta que merece ser respondida por un teólogo".

Herschel había formulado una concepción de la ciencia que partía de que la teoría fundamental era la mecánica newtoniana, que esta teoría daba las explicaciones más generales posibles acerca de la estructura física del mundo, y que cualquier otra teoría tenía como tarea la búsqueda de explicaciones de fenómenos con un nivel de generalidad menor. La teoría de Lyell seguía de cerca la jerarquización que esta concepción de la ciencia imponía a los fenómenos. El clima y la vida eran fenómenos muy complejos, y por lo tanto, una teoría científica de esos fenómenos sólo podía consistir en una descripción de regularidades que satisficieran ciertos criterios metodológicos, pero *no podía constituirse en una ciencia basada en principios explicativos autónomos de los principios explicativos de la física*. Sin embargo, como veremos más adelante, Darwin aspiraba precisamente a eso.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Respecto a la metodología de la *vera causa* en Lyell, véase el libro de Rachel Laudan, *From Mineralogy to Geology*, Chicago, The University of Chicago Press, 1987, en especial el capítulo IX. El libro de Stephen Jay Gould, *Time's Arrow, Time's Cycle*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1987, trata de la historia del concepto de "tiempo profundo" como un concepto explicativo en la geología y la biología. Respecto a la teoría de la ciencia de John Herschel, véase John Losee, *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*, Madrid, Alianza Editorial, 1991. Otro libro del mismo autor que destaca el valor de la predicción en la concepción de la ciencia de Herschel, es *Filosofía de la ciencia e investigación histórica*, Madrid, Alianza Editorial, 1989.

EL MECANISMO DE LA SELECCIÓN NATURAL COMO RECURSO EXPLICATIVO

§ 1. DE LA COEXISTENCIA PACÍFICA A LA TEORÍA DE DARWIN

Como hemos visto, el paradigma de la ciencia a mediados del siglo XIX en Inglaterra era la astronomía física. Las leyes eran correlaciones entre datos (paradigmáticamente acerca de posiciones y velocidades) que tenían carácter predictivo. Cualquier pregunta acerca de los orígenes de un proceso o realidad más allá de lo que podía establecerse en el presente era una especulación no científica. La ciencia podía concebirse como una mera recopilación de leyes que expresaban regularidades (correlaciones) entre fenómenos observables. Esta concepción empirista radical de la ciencia no había sido, sin embargo, la concepción predominante en el siglo XVIII. El mismo padre de John Herschel, William Herschel, el astrónomo más famoso de Inglaterra en el siglo XVIII, había especulado con una hipótesis de la evolución estelar. Erasmus Darwin, el abuelo de Darwin, había especulado con una hipótesis materialista-vitalista de la evolución de la vida, de manera similar a como habían especulado Lamarck y muchos otros de sus contemporáneos.

Fue sólo a principios del siglo XIX cuando la concepción predominante de la ciencia en Inglaterra se tomó profundamente antievolucionista y antihistoricista, por lo menos en cuanto a que toda explicación histórica, se pretendía, era teleológica en un sentido externalista (no inmanentista) que, en última instancia, requería la hipótesis de Dios. El antihistoricismo de la teoría climática de Lyell, de la que hablamos en el capítulo anterior, es un ejemplo típico de esa concepción de la ciencia predominante en la primera mitad del siglo XIX. Para Lyell, las fuerzas que constantemente cambian la faz de la Tierra están siempre allí, y son ellas las que constituyen la realidad perenne a la que la ciencia debe prestarle atención. Lo más seguro es que no podamos entender el origen de esas fuerzas —un razonamiento análogo al razonamiento de Newton con respecto a la fuerza de gravitación universal— pero una vez que entendemos cómo ope-

ran, podemos saber de las **correlaciones** de fenómenos que generan y eso es a lo que la ciencia aspira.

La ciencia, para **Herschel, Lyell y la gran mayoría** de sus **contemporáneos**, era esencialmente **ahistórica**. No **podía** abarcar preguntas acerca del origen de algo, porque el origen de algo no puede entenderse como la consecuencia de una regularidad **empírica** que describe el efecto de una fuerza reconocible, encajable en el **esquema** newtoniano. Pero si bien una explicación de la **historia** como ésta es, en el **fondo**, una posición **antihistoricista**, también es **cierto** que **permite** formular de un modo muy simple y eficaz la **manera como** la ciencia y la teología pueden coexistir **pacíficamente**. La **teología** natural **trata** de preguntas acerca de la génesis del mundo que están fuera del alcance del **método científico**, y por ello **Lyell** no intentó responder la pregunta de **cómo** surgen las nuevas **especies** que, según él, **deberían** surgir para sustituir a las especies que se extinguen. Como la mayoría de sus contemporáneos, Lyell consideraba que no era posible responder **científicamente** este "misterio de los misterios", puesto que **nadie** había podido observar el **surgimiento** de una nueva especie, un suceso que, **geológicamente** hablando, era **común**, creía Lyell, pero que en **relación** con la **breve historia humana**, resultaba **muy raro**. Esta concepción de la ciencia, en la **medida** en que la teoría de la **evolución** se entiende como la explicación de un proceso histórico **genuino**, deja fuera, por decreto, el **problema** de la **evolución**. Herschel y sus **contemporáneos** transforman un defecto epistemológico de la concepción **empirista** de la ciencia en un ideal **metodológico**.

No sólo la teoría de la evolución de **Darwin**, sino muchas otras teorías evolutivas que surgieron durante la segunda mitad del siglo XIX, tuvieron que **abrirse** poco entre los prejuicios de esa **concepción antihistoricista** de Herschel y su generación. Incluso en astronomía, los **intentos** por entender los orígenes del sistema solar **sin recurrir** a causas **finales** (en el sentido de la **teleología externalista, teológica**), por ejemplo, tuvieron que **luchar contra** esa **concepción** de la ciencia.

Ahora bien, desde la discusión entre **Leibniz** y **Newton** acerca de la **naturaleza** de las leyes, y del **papel** de Dios en su **implementación**, hubo una discusión acerca de la **manera** en que debían entenderse esas leyes. Los **newtonianos** (**generalmente** ingleses) pensaban que las leyes de la naturaleza eran los principios **arquitectónicos** del universo, pero que se requería la intervención divina de vez en cuando para mantener la armonía del universo. Así, **Newton** **había mostrado** que, según sus cálculos de la acción de la ley de la gravitación universal, era necesario que Dios interviniera de vez en cuando para **mantener** los planetas en sus órbitas. Leibniz pensaba, **como vimos** en el capítulo 4, que Dios no podía ser el **mal ingeniero** que **Newton** creía que era. Dios **debía** tener la capacidad de

construir un mundo, el **mejor** de los mundos posibles, regido por leyes **inmutables** y **universales** que **jamás** requerirían ajustes adicionales.

El desarrollo posterior de la ciencia mostró que tanto **Leibniz como Newton** en parte tenían razón. El desarrollo de la **mecánica newtoniana**, llevado a cabo sobre todo por **Lagrange** en la segunda mitad del siglo XVIII, dejó ver que era posible explicar la estabilidad del sistema solar a mucho **mayor** plazo de lo que **Newton** había pensado que era posible. Sin embargo, la estabilidad del sistema solar no estaba garantizada para **siempre** y la **intervención divina** parecía requerirse de todas **maneras**. Los **teólogos naturales** podían **argüir** que las **explicaciones** de las ciencias naturales eran explicaciones de los procesos que **constituían** el mundo material, pero que para explicar el diseño original que da lugar a las leyes de la naturaleza **teníamos** que recurrir a Dios. La idea de que el **orden existente** requiere una **explicación**, que en **última** instancia requiere la existencia de un Creador, es el famoso argumento del **diseño**, uno de los principales argumentos con que en el siglo XIX se pretendía probar la existencia de Dios.

Así pues, la **coexistencia** entre la teología natural y la filosofía natural se basaba en la **distinción** entre dos tipos de explicaciones: la **filosofía** natural trataba de explicaciones de un **orden** establecido a partir de leyes, mientras que la **teología natural** explicaba el **origen** de ese **orden** a partir de una causa **final**, Dios. Una **explicación científica** del **surgimiento** de una nueva especie tendría que darse en términos de **causas** verdaderas sin **incluir** causas finales, pues de otra **manera** se estaría invadiendo el terreno de la teología. Esto, por **supuesto**, apuntaba a que el **problema** del surgimiento de una nueva especie podría **estar fuera** de nuestra **comprensión**. Dios no tenía por qué **haber** hecho el mundo de manera que todos los procesos requeridos para su **construcción** fueran inteligibles para nosotros.

§ 2. UNA EXPLICACIÓN NATURALISTA DEL ORIGEN DE LAS ESPECIES

¿Era posible dar una explicación científica, naturalista, del origen de las especies? Antes de **Darwin**, **J.B. Lamarck** y otros habían dado una explicación naturalista del origen de las especies. Por lo menos en parte, como consecuencia de sus intentos por clasificar los invertebrados a finales del siglo XVIII, **Lamarck** había llegado a convencerse de la imposibilidad de hacer **distinciones tajantes entre especies**, así como de la **transformación** de una especie en otra. Éste es el punto de partida de su *Filosofía zoológica* (publicada en 1809), donde desarrolla la idea de que las especies **se transforman en otras** debido a los efectos del medio ambiente. El surgimiento de una nueva especie, la modificación de una especie debido al cambio de las **circunstancias**, era, para **Lamarck**, el **testimo-**

nio de una "potencia" que actúa siempre cambiando, destruyendo y renovando sin cesar todos los órganos y, finalmente, los cuerpos de los organismos. La **explicación** de Larnarck es, en ese sentido, un ejemplo de la concepción inmanentista de las leyes de la naturaleza, según la cual las leyes se refieren a poderes que, de alguna manera, **están** en las cosas.

Esa potencia no actuaba directamente sobre los seres vivos, sino por medio de leyes y de potencias subordinadas que a su vez estaban regidas por otras leyes, y **así** sucesivamente. Las leyes actuaban mecánicamente en el **nivel** de la jerarquía en la que **les** correspondía actuar, ya **fuera** el clima o la **fisiología** de los animales. Esta compleja jerarquía de leyes y de **mecanismos** asociados con las leyes era la **Naturaleza**. **Así**, en la versión de Larnarck, las especies podían **transmutarse** y lo que permanecía constante era la jerarquía de leyes que **regían** los poderes **causales** que eran capaces, incluso, de transmutar una especie en otra.

Darwin, convencido como estaba en 1838 de la **transmutación** de las especies, no **podía** aceptar un teoría **como** la de **Lamarck**, que **partía** de supuestos **metafísicos** cercanos a la **tradición inmanentista** de las leyes naturales y distantes de una ciencia basada en causas verdaderas. M.J.S. Hodge (1987)¹ ha **mostrado cómo** este ideal de la **metodología** de las causas verdaderas **ilumina** la **estructura** de la argumentación de *El origen de las especies* de Darwin. Este ideal de la **vera causa** requería establecer **tres** condiciones: la **existencia** de las causas que **desempeñaban** un papel en las explicaciones, la **adecuación** de la causa para explicar el tipo de **hechos** que requerían explicación y, por último, la **responsabilidad** de la causa en la generación de los hechos que hay que explicar, **así como** de otros fenómenos originalmente no contemplados para ser explicados.

Herschel, como **vimos**, pensaba que, en su teoría del **cambio climático**, **Lyell** **había** establecido, en todo caso, la **primera** de las condiciones para la causa que él **proponía**, la distribución de las **masas** terrestres, pero no las otras dos. La causa que **Herschel sugería** para explicar los cambios **climáticos**, que consistía en el cambio en la **excentricidad** de la órbita de la Tierra, podía ser la principal responsable del cambio del clima, que **adeinas** parecía satisfacer las otras dos condiciones y, por lo tanto, podría ser la causa verdadera de los **cambios climáticos**.

En *El origen*, Darwin desarrolló un argumento basado en el establecimiento de tres tipos de evidencia que corresponden **precisamente** a los tres tipos de condiciones que es necesario que cumpla una **vera causa**. La tesis cen-

¹ En esta sección me apego bastante al análisis de Jonathan Hodge del concepto de causa verdadera en Darwin. Véase, por ejemplo, Hodge (1987).

tral de Darwin es que la **selección** natural es la causa **primordial** responsable de la transmutación de las especies. Así, en los tres primeros **capítulos**, Darwin muestra que hay una tendencia realmente **existente** en especies domesticadas (capítulo I) y en especies **salvajes** (capítulo II) a que los individuos de las diferentes especies varíen, y que la **heredabilidad** de esas variaciones depende de las condiciones cambiantes en las que el individuo se esfuerza por sobrevivir (capítulo III). Esto sienta el primer requisito para el **establecimiento** de la selección natural como una causa verdadera. La segunda **línea argumentativa** se desarrolla en los **capítulos** IV y V, **donde Darwin establece** la **adecuación** de este **niccainismo** de **selección** de variantes, que **actúa** en periodos **muchísimo más** prolongados que los que son accesibles a la observación directa o **históricamente** registrada, y en condiciones cambiantes, para transmutar las especies y generar la diversidad de formas vivientes que observamos en el presente. Finalmente, en el resto del libro, **Darwin estudia** una serie de hechos **establecidos** en diferentes ciencias, y muestra que estos hechos pueden ser explicados de **manera** unificada si se toma la hipótesis **de** la selección natural como la principal **fuerza** responsable de la **transmutación** de las especies. De esta **manera** Darwin argumenta **en favor** de la **responsabilidad** de la causa (el **mecanicismo** de selección natural) en la **germinación** de las especies, el tercer **punto** que debe establecerse **según** la metodología de **Herschel**. Sin **embargo**, tanto en Newton **como** en **Herschel** una característica importante de la **vera causa** era que fuera capaz de predicciones inesperadas. Éste es un rasgo de la **vera causa**, tal y como se utilizaba en la **física**, **del** que Darwin hizo caso omiso.

No obstante, es interesante recordar que esta manera de abogar por la responsabilidad de la causa es muy **similar** a la que Newton utilizó en *los Principios matemáticos de la filosofía natural*. Como vimos **anteriormente**, Newton interpretó la aseveración de que la **aceleración** de la Luna y la caída libre de los cuerpos sobre la **superficie** de la Tierra **tienen la misma causa como** una aseveración de que estas dos clases de fenómenos están regidas por la **misma ley** de la naturaleza. En el libro III de *los Principios matemáticos*, Newton **muestra cómo** una serie de fenómenos pueden deducirse de la ley de la gravitación universal, y estos fenómenos **implícitamente** validan la responsabilidad que se le atribuye a esta fuerza y a la concepción general de **los** poderes naturales que, según la concepción de **Newton**, **subyacen** tras estas aplicaciones. De **manera similar**, la tercera parte de *El origen*, a partir del **capítulo** VI, cumple esta **función**. En esos capítulos, Darwin trata de **establecer** la responsabilidad de la selección natural en la **conformación** de la vida en la Tierra mediante la construcción de una gran variedad de **explicaciones** de procesos (**embriológicos, anatómicos, paleontológicos**) que antes **no** tenían explicación o que **tenían** explicaciones disimiles. Darwin **muestra** que todos esos fenómenos reciben una explicación **unificada** si

se parte de la suposición de que la selección natural es la fuerza primordial que los explica. Darwin pudo haber captado esta idea del *Discurso* de Herschel, que también ponía énfasis en el establecimiento de esta conexión entre la responsabilidad de la causa y el poder explicativo de la ley que la describe.

La metodología newtoniana había demostrado su valor a lo largo del siglo XVIII en tanto que había servido como una guía muy fructífera para la consolidación de nuevas aplicaciones del modelo newtoniano en hidrodinámica, electricidad, magnetismo, teoría de los metales, química, etcétera. La teoría de Darwin puede tomarse como inuestra de la importancia de la metodología newtoniana en la biología.²

Las explicaciones por causas verdaderas no tienen un carácter esencial que las distinga; más bien constituyen una serie de explicaciones estructuralmente similares que se han extrapolado de una disciplina a otras y que a veces han logrado tener éxito al dar cuenta de los fenómenos, por lo que han tendido a propagarse para generar explicaciones similares en otras disciplinas. Si bien las explicaciones por causas verdaderas de Lyell no pueden considerarse exitosas, las de Darwin basadas en la existencia de la selección natural sí pueden considerarse que lo son. Esto, en parte, debemos verlo como un logro más de la metodología newtoniana, pero, al mismo tiempo — como veremos —, constituyó una muestra palpable de sus limitaciones. Así como no es fácil decidir dónde termina una especie y dónde comienza otra, tampoco es fácil decir dónde termina un patrón de explicación y dónde principia otro.

Ahora bien, antes de adentrarnos en la caracterización del novedoso patrón de explicación que se vislumbra en las explicaciones de Darwin, es importante que veamos con un poco de más cuidado cómo utilizó Darwin el ideal de la *vera causa*.

² Debe notarse que esta interpretación va en contra de una idea profundamente enraizada entre los historiadores y filósofos de la biología del siglo XX, según la cual la física newtoniana, en tanto que era el patrón dominante de la ciencia en el siglo XIX, sirvió más bien de obstáculo para el desarrollo de la biología. Ernst Mayr, distinguido biólogo e historiador de la biología, titula uno de los capítulos de un libro reciente acerca de la estructura argumentativa de la teoría de Darwin (*One Long Argument*, Cambridge, Harvard University Press, 1991) "La lucha en contra de los físicos y los filósofos". Esta idea tradicional de que Darwin llegó a establecer su teoría a pesar de la filosofía y la física de su tiempo es errónea, y me parece que proviene de ciertos prejuicios y presupuestos acerca de lo que es una explicación en la ciencia. En el fondo, Mayr, como muchos otros historiadores y filósofos de la biología, sostiene que las explicaciones de la física son esencialmente formulables en el patrón newtoniano. Desde este punto de vista, no existe dificultad en mostrar que las explicaciones en biología son radicalmente diferentes. Sin embargo, lo que aquí estoy sugiriendo es que en el marco de una interpretación distinta de la metodología de causas verdaderas, Darwin es un seguidor de Newton, aunque en otro sentido que examinaremos más adelante: Darwin es el iniciador de un nuevo patrón de explicación en la ciencia. Los patrones de explicación, pues, no están casados con las disciplinas, sino con tipos de problemas que fluyen entre ellas.

§ 3. DARWIN Y EL CONCEPTO DE *VERA CAUSA*

Lyell parece haberle sugerido a Darwin la idea de que una causa verdadera del origen de las especies podía ser el condicionamiento geográfico. En 1837, en sus cuadernos de apuntes, Darwin exploró la idea de que son las condiciones cambiantes del medio la causa de la transmutación de las especies, lo que a su vez genera un "árbol de la vida" donde las especies que se transmutan aparecen como líneas que se dividen, y las especies extintas se representan con líneas que terminan sin dividirse.

Lyell suponía que las especies eran creadas independientemente unas de otras. Como la mayoría de sus contemporáneos, Lyell pensaba que era la previsión divina de las condiciones del medio en las que la especie era creada, y de los ambientes que estaba destinada a encontrar en su diseminación, lo que determinaba las características de la especie. Ésta era una idea con la que Darwin estaba en profundo desacuerdo, y si bien pensaba que debería ser posible dar una explicación naturalista de esa adaptación, no estaba de acuerdo con la explicación inmanentista de Lamarck.

Una explicación naturalista del origen de las especies no podía suponer que las especies surgieran adaptadas a su medio ambiente y menos aún que surgieran adaptadas a otros medios futuros. Pero, ¿qué tipo de procesos posible podía dar cuenta de la obvia adaptación de las especies a su medio ambiente sin suponer algún tipo de diseño preestablecido? Precisamente la generación de variaciones no dirigida, que según Darwin existía en todos los individuos y sobre la cual actúa la selección, es un proceso de este tipo. Para Darwin, una nueva especie tiene las características que tiene, los caracteres distintivos de su género, debido a que es el producto de la descendencia de especies existentes anteriormente. Y debe su adaptación al medio ambiente, no a la previsión inteligente de algún ser superior, sino a las condiciones mismas que se produjeron durante el proceso de especiación y que determinaron su divergencia de la especie ancestral.

Mientras que la hipótesis de Lyell requiere que todas las especies estén perfectamente adaptadas a su medio ambiente, la hipótesis de Darwin requiere que la adaptación sea suficiente como para ser la causa de su sobrevivencia y reproducción, pero nada más. La adaptación puede ser, desde muchos puntos de vista, imperfecta. Darwin encuentra una larga serie de casos que muestran lo inadecuado de la hipótesis de Lyell; hay, por ejemplo, unos pájaros carpinteros que viven en prados en los que no hay árboles y también existen unos peces que caminan con las aletas. Ejemplos como éstos refutan, según Darwin, la idea de que las especies están perfectamente adaptadas a su medio y apoyan la idea de que un *elemento de contingencia debe incluirse en la explicación de un*

proceso *adaptativo*. A lo largo de su vida, Darwin **continuó** acumulando evidencias de adaptaciones imperfectas que parecían surgir más bien del aprovechamiento de oportunidades y de las características ya adquiridas previamente en el proceso evolutivo, que de la previsión del medio ambiente. Su trabajo sobre las orquídeas inglesas es otro ejemplo de la dedicación que tuvo Darwin, durante muchos años, para establecer las partes o estructuras homólogas en las diferentes flores, esto es, partes o **estructuras** que son resultado de la evolución de un mismo órgano ancestral. Cada uno de esos Órganos o partes homólogas va cambiando de forma en las distintas especies, adaptándose a estrategias y condiciones muy diferentes, aprovechando cualquier contingencia del medio ambiente para llevar a cabo la tarea para la que está diseñado. No era Dios, sino una serie de accidentes, la responsable del diseño en la naturaleza.

Darwin no llegó a esta concepción repentinamente. En un libro de notas (conocido como el Libro B de *Apuntes* [*Notebooks*], escrito en 1837), consideró dos posibilidades que constituirían una solución satisfactoria al **problema** de la relación entre adaptación y transmutación de las especies. Podría ser, dice Darwin, que en el proceso de adaptación a sus circunstancias, la especie **madre** asegure la adaptación de la especie hija a sus **circunstancias**, o bien, podría ser que una especie madre se viera influida adaptativamente por una sucesión de circunstancias cambiantes y **que** esto llevara a la producción de innumerables variedades, entre las cuales las mejor adaptadas serían las que tenderían a sobrevivir. Darwin plantea aquí dos hipótesis respecto al tipo de variaciones que puede generar el cambio adaptativo. Por un lado, las variaciones pueden estar dirigidas, en el sentido de que hay una previsión de circunstancias futuras. Por otro, las variaciones pueden ser ciegas, esto es, no dirigidas y, entonces, estadísticamente hablando, **son los mejor** adaptados los que sobreviven y tienen más descendientes.

Sin embargo, por un buen tiempo, Darwin no le otorgó al concepto de variación ciega o no dirigida la **importancia** que iba a **tener** en su teoría final. Esto se debía, según parece, a que las variaciones no dirigidas en la naturaleza parecían ser muy raras y, siendo así, no podrían dar cuenta de la adaptación de las especies. A diferencia de lo que sucedía con especies domesticadas, el **apareamiento** libre entre los individuos de vida silvestre **haría** que las variaciones significativas, *i.e.*, con valor adaptativo, desaparecieran sin dejar rastro en las poblaciones naturales.

En la teoría que Darwin elaboró entre 1837 y 1839, y que constituyó el núcleo de la que iba a publicar en 1859, Darwin logró formular una teoría coherente por medio del abandono de la idea de que las condiciones **siempre** determinan *directamente* el cambio adaptativo, y desarrolló la idea de que a través de la selección de variantes generadas al azar tiene lugar la **transmutación** de las

especies. No obstante, el concepto de azar **presupuesto** aquí es, en un sentido importante, compatible con el determinismo de la concepción newtoniana (y, como veremos, laplaciana). Todo lo que esta noción de azar requiere es que la generación de variantes no esté dirigida, esto es, que las variaciones no se generen con vistas a un fin adaptativo.

Darwin se empezó a alejar **significativamente** de la posición de Lyell cuando trató de explicar la adaptación de las especies por **medio** de un concepto de descendencia de especies que incluyera las contingencias históricas asociadas con ese proceso. Inicialmente, sin embargo, el **mecanismo** que Darwin proponía como punto de partida del proceso de selección era el de la maduración distintiva de los productos de la **generación** sexual. Esta maduración distintiva hacía posible la variación adaptativa hereditaria sobre la que actuaba la selección. Así, la selección diferenciada de variantes era la **Única** causa verdadera en esa primera teoría. Por el contrario, en la teoría acabada, el origen de la variación eran las imperfecciones en el proceso de la producción de semillas masculinas y femeninas (huevos y **esperma** en los animales). Este proceso de incorporación de aspectos contingentes, **históricos**, en el nivel de la **transmisión hereditaria**, es distintivo de la teoría de Darwin. La incorporación de contingencias en el nivel del proceso material de la producción de variantes en su explicación era necesario para hacer dispensable el uso de una "inteligencia" o diseño en las explicaciones de los procesos evolutivos. Mas adelante nos detendremos a examinar, de manera más sistemática, el papel que desempeñaron la contingencia y el azar en las explicaciones darwinistas, así como sus **implicaciones**. Por ahora nos basta con esta breve formulación de la diferencia entre las explicaciones de Lyell y Darwin del origen de las especies. A continuación examinaré otro aspecto importante de la manera diferente en la que Darwin entendió los conceptos de **mecanismo** y azar en relación con sus contemporáneos.

§ 4. DARWIN Y LAPLACE

La doctrina clásica del **determinismo** fue formulada por Laplace (en 1814) en un párrafo ahora famoso:

Una inteligencia que por un instante pudiera comprender todas las fuerzas que animan la naturaleza y la situación respectiva de los seres que la componen — una inteligencia suficientemente vasta para someter todos estos datos a análisis — abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los de los átomos más ligeros, para ella nada sería incierto, y el futuro, así como el pasado, estarían presentes a sus ojos.

Esta doctrina clásica del **determinismo** es la expresión de la creencia, muy extendida en la ciencia del siglo XIX y con resabios importantes en el presente, de que la realidad es una, la ciencia es una, y el fundamento de esta ciencia es la física. La física, basada en la teoría newtoniana de la **mecánica** y su impresionante cortejo de aplicaciones, permite entender, en un solo esquema conceptual y con una sola ontología **básica** (las leyes fundamentales de la naturaleza que describen el movimiento de los corpúsculos elementales), toda la realidad, su pasada, su presente y su futuro. Herschel y Whewell habían presentado con admirable claridad a sus contemporáneos las bases de esta creencia. Las leyes que rigen el comportamiento dinámico de los cuerpos compuestos pueden deducirse de las leyes que rigen el comportamiento dinámico de los cuerpos más simples, y en general, las propiedades dinámicas de un cuerpo pueden derivarse de las propiedades dinámicas de sus constituyentes. En este caso decimos que las propiedades del todo son el resultado de la agregación de las propiedades de las partes, o que las propiedades de las partes son **agregativas** respecto al todo. Nótese que podemos hablar de una fuerza como agregativa si las propiedades que genera en las partes de un todo son **propiedades agregativas**.

Como veremos con más detalle posteriormente, Darwin pensaba que la selección natural, en analogía con la fuerza de la gravitación universal en la teoría de Newton, era una ley de la naturaleza con aplicación universal en el mundo orgánico. La fuerza de gravitación es **agregativa** en el sentido de que los efectos de la fuerza pueden "sumarse" de manera tal que la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo sea la suma de las fuerzas ejercidas sobre las partes constituyentes. Análogamente, la "fuerza" de la selección natural actúa sobre las variaciones en un proceso gradual en el cual cambios muy pequeños tienen efectos muy grandes en tiempos muy largos. Sin embargo, la analogía entre la "selección natural" y las "fuerzas" tiene límites que ya eran relativamente claros para Darwin. El comportamiento de las comunidades biológicas, la dinámica de las especies que la teoría pretendía explicar, no podía explicarse meramente como una agregación de la acción de la selección natural en los diferentes individuos. La diversidad y la complejidad de la vida no son una mera suma de la selección natural que actúan sobre los diferentes individuos de las diferentes especies. El mundo biológico, pensaba Darwin, es un mundo complejo que en gran medida es el producto de las diferentes adaptaciones que se han ido dando a lo largo de la historia de la vida, es un mundo constituido por individuos que tienen memoria e historia. Darwin estuvo convencido desde muy temprano de que esa memoria y esa historia hacían que una teoría adecuada para la biología tuviera que ser muy diferente de la teoría newtoniana. Desde los primeros esbozos de su teoría, que publicaría en 1859, Darwin vio muy claramente que esta diferencia entre los dos tipos de teoría exigía la introducción de aspectos contingentes

(azarosos e históricos) en las explicaciones biológicas. La **introducción** de estos recursos explicativos es una contribución **novedosa** y de profundas implicaciones para el desarrollo de la ciencia ulterior. Darwin, sin embargo, no parece haber tenido claro cuáles eran las implicaciones de la introducción de estos recursos explicativos para la **analogía** entre la teoría de Newton y la teoría de la evolución. En esta sección me interesa examinar uno de los límites que surgen de la consideración del azar como recurso explicativo, algo que nos permitirá tener una idea más clara de la novedad y lo revolucionario de estos recursos explicativos.

Iniciaré con una cita proveniente de una versión preliminar de El origen, el Ensayo de 1844, en el cual Darwin utiliza la inisma **metáfora** de Laplace para explicar por medio de la suposición de una gran inteligencia, a la **manera laplaciana**, los rasgos esenciales de su teoría de la **evolución por selección natural**:

Supoiigamos que existe un Ser con una **penetración** suficiente como para percibir las diferencias imperceptibles para el hombre entre la **organización** exterior y la interior, y con capacidades de previsión que se extienden por siglos para observar con el mayor cuidado, y seleccionar por cualquier rasgo que le interese, la **cría** de un organismo producido en las circunstancias anteriores; no veo ninguna razón por la cual él no pudiera formar una nueva raza [...] adaptada a nuevos fines. Dado que hemos supuesto que su poder de discriminación, su previsión y su constancia son **incomparablemente** mayores que la de los hombres, podemos suponer que la belleza y las complicaciones de las adaptaciones de las nuevas razas y sus diferencias de la cepa original son mayores que las diferencias que han sido producidas en las razas domésticas por los hombres (citado por Schweber, 1982).

Nótese que, como dice Schweber en el artículo de donde tomé la cita, para el ser superior de Laplace no existe el tiempo. En cambio, para el ser superior de Darwin el tiempo es un elemento esencial, requisito para poder llevar a cabo su tarea. El ser superior de Darwin tiene que dedicarse con el mayor cuidado y gran constancia a su tarea de **selección**, no se **limita a ver la causa de las variaciones y escoger la que más le conviene**. Su superioridad no consiste en eliminar el elemento azaroso en la producción de variantes y el proceso de ensayo y error. El ser superior de Darwin no elimina la historia, al contrario, la usa para sus fines.

El origen de la eliminación del tiempo y la historia en el esquema **laplaciano** proviene de la generalización de un rasgo muy significativo de la teoría **newtoniana**, la generalización a toda la realidad de una característica peculiar de la teoría newtoniana de la mecánica: la distinción entre condiciones iniciales (la velocidad y la posición de una partícula en un determinado instante), que son contingentes, y las leyes universales del movimiento que constituyen la teoría

propiamente dicha. De **esta** manera es posible distinguir entre lo que se da **con** necesidad (o en todo caso, universalmente), esto **es**, las leyes y sus consecuencias; y lo que es meramente contingente, es decir, algo que sólo existe para nosotros en una situación dada, algo que no es derivable de leyes. Desde esta perspectiva, lo contingente no explica nada, no puede explicar nada, porque **lo** que explica son las **leyes**. Lo contingente **sólo** entra en las **explicaciones** como condición inicial que nos permite calcular el estado de un sistema en cualquier momento.

La **explicación** de un proceso por selección natural, incluso para un ser superior, afirma Darwin, requiere que **tomemos** en cuenta la **producción** azarosa de variaciones (azarosa en el sentido de que la producción de variaciones **no** depende de las adaptaciones a las que da lugar). Darwin, sin embargo, carecía de los recursos conceptuales necesarios para refutar y **rechazar** la concepción laplaciana que constituía el marco tradicional metafísico de la ciencia de su **tiempo**. Por ello, me parece, varias veces, y en **El origen** en particular, Darwin reconoce que decir que las "variaciones se deben al azar" es una expresión incorrecta, que simplemente sirve —según él— "para reconocer nuestra **ignorancia** de la causa de cada variación particular".

No obstante, esta concepción tradicional del azar **como** producto de **nuestra** ignorancia **entra** en conflicto **con** el **modelo** de explicación seleccionista que Darwin estaba proponiendo para la biología. Si **lo** azaroso de las variaciones era producto de **nuestra** ignorancia, un ser superior **debería** ser capaz de ver a través de esa ignorancia y **simplemente** escoger, no sólo "seleccionar con cuidado y constancia", la variación que **más** le conviniera para el fin particular **que** tuviera **en** mente. Ni Darwin ni sus contemporáneos vieron **explícitamente** este **conflicto** entre la concepción **tradicional** de azar y el tipo de explicaciones que **Darwin** proponía para la biología.

Indudablemente, sin embargo, el **rechazo** de Herschel y Whewell a la teoría de Darwin **tuvo** su origen **en** el **reconocimiento** de esta tensión. **Como** veremos **con** **más** detalle en la siguiente **sección**, la **crítica** de **Herschel** a Darwin es bastante significativa al respecto. Herschel, **me** parece, se dio cuenta de que Darwin estaba utilizando el azar objetivo como un recurso explicativo, y consideró que Darwin simplemente **no podía** hacer esto, puesto que **el azar objetivo no puede ser un recurso explicativo en ninguna teoría que sea compatible con el esquema de Newton-Laplace**. La aceptación de la explicación de Darwin del origen de las especies obligaba a aceptar una tensión profunda en los fundamentos de la ciencia. Herschel y Whewell advertían esta tensión, aunque quizás no llegaron a **formular** esta idea de **manera** explícita. Siendo **así**, su **rechazo** **no tiene** por qué entenderse **como** una mera obcecación dogmática.

David Hull (1972) expresa una creencia muy extendida **entre** los historiadores de la biología cuando **afirma** que:

La facilidad con la que Herschel, Whewell y Mill pretendían la verificación exacta de hipótesis y la exclusión de las cualidades ocultas de la ciencia por un lado, mientras que por el otro insistían en la intervención directa de Dios en los fenómenos naturales es punto menos que esquizofrénico (p. 33).

Ciertamente, si se olvidan los argumentos y el marco conceptual del que estos grandes pensadores estaban partiendo, se puede **hablar** de esquizofrenia, pero **sólo** así. **Como** vimos, **Herschel**, por lo menos, **tenía** muy claro que la teoría de Darwin y la **teoría** de **Newton** **no podían** coexistir pacíficamente, y él **no** tenía dudas respecto a cuál de ellas estaba en lo cierto. Su juicio se basó en razones de peso.

Además, pretender que la selección natural es una **vera causa** sugiere que la teoría de Darwin puede complementar a la teoría newtoniana en el ámbito de lo orgánico, y que el origen de las especies es uno de esos "fenómenos **residuales**" de los que, según Herschel, quedan por explicar en el marco de la física **newtoniana**. Pero a pesar de la analogía que **mostramos** antes, la selección natural **no** es una "**fuerza**" en el sentido **newtoniano**, **no sólo** porque **no** es **física**, sino porque tampoco es agregativa, como ya vimos; pero **además porque involucra el azar (lo contingente) esencialmente**. Éstos eran argumentos contundentes para Herschel y para cualquiera de sus contemporáneos que entendiera a fondo las implicaciones de la física de Newton-Laplace.

A continuación **examinaré** brevemente la recepción que tuvo la teoría de Darwin en la **Inglaterra** del siglo XIX, algo que nos permitirá elucidar **ciertos** aspectos importantes de la **metodología** seguida por él y del carácter de sus explicaciones.

§ 5. DARWIN Y LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

La **filosofía** de la ciencia como **disciplina** autónoma (preocupada predominantemente por los problemas **epistemológicos** asociados con el método **científico**) se inicia en la Gran Bretaña con la **publicación** de los trabajos de **John Herschel**, **William Whewell** (1794–1866) y **John Stuart Mill** (1806–1873). Todos ellos eran herederos de la tradición **empirista** de Francis Bacon **en** **epistemología** y de la concepción del método **científico** de Newton. Ya nos hemos referido al famoso **Discurso preliminar sobre el estudio de la historia natural** de Herschel. La serie de volúmenes que constituyen la **Filosofía de las ciencias inductivas**,

fundadas en su historia, de Whewell, se publicó en 1840 y *El sistema de la lógica* de J.S. Mill apareció en 1843. Todos estos autores reconocían la importancia de seguir la metodología de las causas verdaderas en la exposición de una teoría que pretendiera ser científica. Darwin conocía bien los escritos de Herschel, algunos pasajes de la obra de Whewell y, por lo menos indirectamente, los de Mill.

Después de la publicación de *El origen* en 1859, Darwin estaba muy ansioso por oír los comentarios de estos grandes filósofos. Lo primero que Darwin escuchó fue un comentario que Herschel había hecho acerca de su teoría. Según esto, Herschel había dicho que la teoría de Darwin era "la ley de la confusión" [*the law of higgedly-piggedly*], expresión muy despectiva que se usaba para describir un proceso que no se ajustaba a ningún orden. Posteriormente, en 1861, Herschel elaboró una crítica un poco menos críptica. Según él, "el principio de la variación arbitraria y casual y la selección natural como una teoría adecuada, *per se*, del pasado y del presente mundo orgánico, es tan inaceptable como el método de componer libros de los lupatanos es una explicación satisfactoria de las obras de Shakespeare y de los Principios".³ *La objeción central a la obra de Darwin es clara, no es aceptable en una teoría científica acerca de la evolución de las especies la eliminación del uso de una "dirección inteligente" en favor de una explicación basada en la presencia de contingencias.* Al parecer, Herschel pensaba que una explicación como la de Darwin estaba simplemente excluida por los cánones sancionados de la buena ciencia, pero en realidad la objeción no tiene nada que ver con la metodología de las causas verdaderas *per se*. Lo que Darwin mostró es que la concepción de la explicación newtoniana por causas verdaderas, tal y como Herschel y la mayoría de sus contemporáneos la concebían, tenía presupuestos metafísicos no expresados explícitamente en los escritos de Herschel ni en los de sus contemporáneos, presupuestos que Darwin había transgredido guiado por los requerimientos del problema que pretendía resolver con su teoría.

Herschel advierte en su primer comentario que es inaceptable que un estado de confusión (esto es, una referencia al azar) nos explique algo. ¿Cómo podemos pensar en la confusión como si fuera una ley! Para Herschel, la evolución de las especies era el tipo de fenómeno que necesariamente requería una referencia a una "dirección inteligente", y tratar de eliminar esa referencia transgredía los límites propios de la actividad científica.

³ Ésta es una referencia a uno de los pueblos que visitó Gulliver en sus viajes en los escritos de J. Swift. Los lupatanos escribían libros formando palabras que se componían de letras tomadas al azar.

El desacuerdo de Herschel con Darwin estaba relativamente localizado, se refirió al papel que desempeñaban las contingencias en las explicaciones y a la imposibilidad, según Herschel, de sustituir el papel explicativo de "una dirección inteligente" por el de la contingencia o el azar. Herschel concedía que si Darwin estuviera dispuesto a abandonar este punto, su teoría podría ser aceptable.

El rechazo de Whewell es más sólido y más contundente. La posición de Whewell no tiene prácticamente puntos de contacto con la de Darwin. Whewell se oponía a las teorías uniformistas en geología y por lo tanto al gradualismo en esta disciplina y en la explicación de la evolución de las especies. El recurso de las creaciones divinas, los diluvios y otras catástrofes, y en última instancia recurrir al argumento del diseño eran, según Whewell, muy superiores a una teoría como la de Darwin que estaba muy lejos de ser probada por los hechos: no hay un solo ejemplo que Darwin pueda mostrar del origen de una nueva especie, y en tanto esto no sea posible, su hipótesis—según Whewell—es nada más eso, una hipótesis. Una hipótesis que Whewell, al parecer, consideraba que rayaba con lo perverso. Se dice que durante todo el tiempo que Whewell dirigió el Trinity College en Cambridge no se permitió que el libro de Darwin se incluyera en la colección de la biblioteca.

La opinión de Mill era más inasurada. Mill aceptaba que la teoría de Darwin se adecuaba a la metodología correcta, pero esto no era una prueba de su hipótesis, pues no había una deducción a partir de los fenómenos y, por lo tanto, no era más que una inducción que partía de algunos datos aislados pero que no probaba nada y que, a lo más, podía sugerir elementos para una teoría futura. Mill, como Herschel y Whewell, pensaba que, en última instancia, el proceso de la adaptación no podía explicarse sino recurriendo a un argumento de diseño. Recurrir a la historia y al azar para explicar un fenómeno le parecía simplemente inaceptable.

§ 6. UN DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA DE FONDO

La cómoda convivencia de la teología y la ciencia en Inglaterra en la primera mitad del siglo XIX partía del supuesto de que las explicaciones naturalistas de la ciencia tenían un alcance claramente definido. Las explicaciones naturalistas no podían utilizarse en la explicación de procesos que incorporaban causas finales, procesos claramente teleológicos, dirigidos a algún fin, como era el caso de la evolución de las especies. Este tipo de procesos sólo podían ser explicados en términos de "una dirección inteligente".

Whewell, por ejemplo, había elaborado un argumento muy común en el siglo XVIII que mostraba que la teoría de Newton no sólo era compatible con la

existencia de Dios, sino que la suponía. Ciertos fenómenos como la trayectoria elíptica de la órbita de la Tierra alrededor del Sol eran deducibles de las leyes de Newton, pero la luminosidad del Sol o la distancia de los planetas al Sol no lo eran. Desde el punto de vista de la teoría de Newton, la distancia de la Tierra al Sol, y la intensidad del Sol eran hechos accidentales; sin embargo, la distancia de la Tierra al Sol y la intensidad del Sol son precisamente las que se requieren para permitir la vida sobre la Tierra. Así, o bien estos hechos son accidentales o bien hay un Dios responsable de colocar el Sol y los planetas en la posición requerida para el mantenimiento de la vida en la Tierra.

Los filósofos y los científicos que abogaban por esta separación de poderes entre la ciencia y la teología se basaban en la posibilidad de delimitar claramente los dominios de aplicación de los diferentes principios explicativos. Cuando Herschel, Whewell y hasta cierto punto Mill rechazaron como recursos explicativos los milagros en las explicaciones científicas, y consideraron que era necesario formular todas estas explicaciones científicas a partir de leyes de la naturaleza, estaban elaborando esta división de poderes. El origen de las leyes de la naturaleza no puede responderse científicamente pero, una vez que hemos descubierto una ley, todo lo que podemos deducir de esta ley en conjunción con otras leyes y hechos de la experiencia, es conocimiento científico. Este mundo es un mundo gobernado por Dios mediante sus decretos: las leyes de la naturaleza. La ciencia tiene su lugar y Dios el suyo, así como el parlamento tenía su lugar y el rey el suyo.

Darwin escogió el siguiente epígrafe de Whewell para encabezar El origen de las especies:

En relación con el mundo material, podemos ir por lo menos tan lejos como para decir que podemos percibir que los sucesos no tienen lugar por medio de intervenciones divinas aisladas en cada caso particular, sino mediante el establecimiento de leyes generales.

Lo que la discusión acerca del libro de Darwin dejó ver es que lo que se entiende por "mundo material" y por "leyes generales" no es algo dado de una vez y para siempre. El mundo material de Darwin incluía suficientes elementos como para explicar el origen de las especies sin echar mano de intervenciones divinas, directa o indirectamente, pero si recurriendo al azar. El mundo material de Lyell, Herschel, Whewell y Mill, en cambio, no incluía tales elementos, por decreto. El principio de la selección natural era, según Darwin, un principio general con gran poder explicativo. Pero, de acuerdo con Herschel, era "la ley de la confusión". El desacuerdo entre Darwin y Herschel marca, pues, uno de los puntos neurálgicos en la filosofía de la ciencia hasta el presente: el papel de

lo contingente y lo azaroso en una explicación científica. Desde Aristóteles hasta las explicaciones de Herschel basadas en leyes de la naturaleza, que describen conexiones necesarias en el mundo, la idea de que las explicaciones explican lo que se da con necesidad fue parte de nuestro concepto de ciencia. Predecir que el cuervo Pedrito de mi vecino, que nunca he visto, es negro porque todos los cuervos son negros, nos dice algo solo si suponemos que necesariamente todos los cuervos son negros. Si fuera una mera contingencia que todos los cuervos fueran negros, este cuervo en particular, Pedrito, no tendría por qué ser negro.

Tradicionalmente se ha tenido la idea de que después de un rechazo violento inicial, la comunidad de biólogos aceptó con rapidez la teoría de la evolución de Darwin. Ésta es una verdad a medias. La idea de la evolución de las especies, la idea de que las especies transmutan, fue ampliamente aceptada en menos de veinte años. Pero la idea central de Darwin, de que la selección natural es el mecanismo más importante en el proceso de la evolución de las especies, no fue aceptada salvo por una minoría. Es más: sólo con el desarrollo de la genética moderna y en el contexto de la llamada "síntesis" de la biología en los años treinta y cuarenta de este siglo, se puede decir que este elemento central y distintivo de las explicaciones darwinianas fue aceptado plenamente. La versión de la teoría de Darwin que fue aceptada en el siglo XIX ponía el énfasis, que no estaba en el Darwin que escribió El origen, en elementos direccionales que guiaban la evolución, sobre todo mediante la analogía entre evolución y desarrollo embrionario.

Es indudable que esta negativa a aceptar el elemento crucialmente novedoso de las explicaciones por selección natural no puede analizarse con facilidad; pero, como quiero mostrar en el siguiente capítulo, uno de los factores que contribuyeron a que la teoría no fuera entendida y aceptada de manera debida y completa es el simple hecho de que las explicaciones por selección natural no tenían un marco de conceptos suficientes y claros donde apoyarse. Recurrir a la contingencia en las explicaciones científicas siguió siendo problemático y oscuro durante todo el siglo XIX y una buena parte del siglo XX. El papel de lo contingente en las explicaciones científicas es todavía hoy en día el problema central en las teorías de la explicación. En los capítulos posteriores examinaremos algunos de esos problemas.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Existe una enorme bibliografía en torno a Darwin y al carácter de las explicaciones darwinianas. La *Autobiografía* de Charles Darwin (selección de Francis

Darwin), Madrid, Alianza Editorial, 1984, es un buen punto para comenzar. Existen muchas biografías de Darwin, por ejemplo la de Peter Bowler, *Charles Darwin, el hombre y su influencia*, Madrid, Alianza Universidad, 1995. La de Adrian Desmond y James Moore, *Darwin, the Life of a Tormented Evolutionist*, Norron, Nueva York, 1992, presenta una visión bastante completa del contexto político y cultural en el que Darwin desarrolló sus ideas. Véase también, de José Sarukhán, *Las musas de Darwin*, México, Fondo de Cultura Económica, 1988, y de Michael Rusc, *La revolución darwinista*, Madrid, Alianza Editorial, 1983, que destaca el ambiente científico, filosófico y teológico de la Inglaterra del siglo XIX. El libro *One Long Argument* de Mayr, citado en la nota 2, fue traducido al castellano por la editorial Critica en 1992. El título se traduce como Una larga controversia (lo cual es incorrecto). "One long argument" se refiere a una frase de Darwin en la que recalca la importancia de tomar El origen como un argumento que se desarrolla a lo largo de todo el libro.

David Hull es uno de los historiadores y filósofos de la biología que más se han preocupado por poner a Darwin en el contexto de la filosofía de la ciencia, véanse los artículos recogidos en su libro *The Metaphysics of Evolution*, Nueva York, State University of New York Press, 1989. Acerca de la novedad de los conceptos darwinistas y, en particular, del concepto de variación ciega desarrollado por Darwin, la colección de artículos compilada por David Kohn (*The Darwinian Heritage*, Princeton, Princeton University Press, 1985) es una buena fuente para varios de los temas tratados en este capítulo.

La recepción de la teoría de Darwin se examina en el libro de Peter Bowler (*The Non-Darwinian Revolution*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1988), mientras que una reconstrucción de la elaboración de la teoría de Darwin en sus cuadernos de apuntes se encuentra en el artículo de Hodge y Kohn, "The Immediate Origins of Natural Selection", en la citada colección compilada por Kohn (1985). En la tercera sección me baso en éste y otros artículos de Kohn.

Existen varias ediciones en español de El origen de las especies de Charles Darwin. Debe notarse, sin embargo, que algunas son versiones abreviadas o que no incluyen todos los capítulos. Las versiones de editorial Porrúa, editorial Diana y la UNAM son completas. Se recomienda la edición facsimilar de la primera edición: Charles Darwin, *On the Origin of Species*, introd. de Ernst Mayr, Cambridge, Harvard University Press, 1964.

8

LA EXPLICACIÓN EN BIOLOGÍA: HISTORIA Y NARRATIVA

En este capítulo examinaremos el sentido en el que las explicaciones darwinistas pueden considerarse, en biología, explicaciones históricas. Para ello voy a hablar de dos sentidos en que lo son; tales sentidos no son excluyentes, sino que más bien ponen el énfasis en aspectos diferentes, pero relacionados, de las explicaciones evolucionistas.

Para empezar diremos que una explicación es histórica si incorpora en el explanans aspectos contingentes que no están subordinados a leyes (i.e., aspectos contingentes que no pueden modelarse como meras condiciones iniciales requeridas para la aplicación de las leyes).¹ Esto puede suceder de dos maneras: (i) ontológicamente: cuando los sistemas de los que habla la teoría, esto es, los taxa, son entidades históricas en la medida en que el principio de individuación de taxa es genealógico; y (ii) epistemológicamente: cuando la teoría es histórica en la medida en que sus explicaciones toman la forma de una narrativa de manera esencial. En las siguientes secciones abordaré cada uno de estos sentidos por separado y posteriormente haré algunos comentarios generales que prepararán el terreno para el siguiente capítulo, donde proseguiré este tema adoptando una perspectiva diferente, desde el punto de vista del papel del azar en la teoría de Darwin y en otras teorías contemporáneas y posteriores a la teoría de Darwin.

§ 1. CONTINGENCIA E HISTORIA

Como parte de su argumentación escéptica, Hume desarrolló una crítica al argumento del diseño, esto es, a la tesis de que la naturaleza, o cualquier parte de ella,

¹ El explanans se refiere a toda aquella información a partir de la cual explicamos un suceso, fenómeno o ley. Cuando la explicación se modela como un argumento, el explanans consiste en las premisas del argumento.

es producto de un diseño que a su vez refiere a un **diseñador**. Este tipo de argumento estaba relacionado con argumentos clásicos que pretendían demostrar la existencia de Dios. Desde la Edad Media era muy común tratar de explicar el orden del cosmos o las regularidades de la naturaleza **física** como si requirieran un diseñador. Hume argumentaba que no hay nada en los procesos, o en lo que sabemos acerca de sus causas, para obligarnos a pensar que la única posible respuesta es un diseñador. **Sabemos** tan poco de las causas de los fenómenos, que la evidencia **que tenemos** es perfectamente compatible con otras **hipótesis, como** que la **materia** está viva, por **ejemplo**. No es posible, sobre la base de lo que sabemos, excluir otras **hipótesis** y, por lo tanto, el argumento del **diseño** es simplemente un mal argumento.²

Hume, con la larga lista de **filósofos** que **examinaron este** argumento hasta el siglo XIX, se centró en la discusión de casos de la **física** y, sobre todo, **tuvo** en mente el problema de la explicación del orden cósmico. A partir del siglo XIX hay un cambio de énfasis, el argumento recurre de manera predominante a la idea de que el orden biológico, y en particular la organización funcional y la adaptabilidad de los seres vivos a su **medio ambiente**, no puede explicarse de la **misma** manera que los fenómenos de la **física**, a partir de leyes, sino que tiene que explicarse como resultado de un **diseño**. En otras palabras, el **argumento del diseño** que va a elaborarse de **muchas maneras** en el siglo XIX, sobre todo en la Gran Bretaña, consiste en mostrar que la **complejidad** del orden biológico, y en particular la complejidad de las adaptaciones y la organización **funcional**, es de tal magnitud que ninguna ley de simplicidad comparable con las leyes **físicas** puede **explicarlo**, y que la única explicación plausible es que ese orden es directamente explicable como resultado de la acción de un Creador. **Este** argumento fue **clásicamente** formulado por William Paley en un libro muy famoso en el siglo XIX y que influyó mucho en Darwin, *La teología natural, o la evidencia de la existencia y atributos de la divinidad recogida de las apariencias de la naturaleza*, publicado por primera vez en 1802. La idea fue desarrollada también por Whewell en un libro publicado en 1833. La tesis de Whewell era **convictiva**: toda **manifestación** de una ley es una **manifestación** de la inteligencia que la estableció. El libro de Whewell fue el primero de una serie de **ocho** libros de una colección dedicada a elaborar el argumento del diseño.

² Es interesante observar que el argumento de Hume parece anclado en el reconocimiento de la distinción que hace Newton entre hipótesis y demostraciones a partir de los fenómenos. La deducción de los fenómenos de la ley de la gravedad es parte segura del conocimiento, pero las hipótesis acerca del origen de la fuerza gravitatoria no son más que eso, hipótesis especulativas, que pueden ser o no ciertas. De igual manera, el argumento del diseño pretende concluir que una de las causas posibles del orden natural es la causa verdadera de ese orden, y esto requeriría una deducción a partir de los fenómenos que no es posible hacer.

La teoría de Darwin —y en particular su **postulación del** mecanismo de la selección natural **como** el responsable de la organización funcional y de la **complejidad** de las adaptaciones que **encontramos** en la historia de la vida — puede verse como una respuesta a este desafío planteado por Paley y Whewell. Darwin pretende convencernos de que un mecanismo que no necesita un diseñador es el **responsable** del orden biológico.

La respuesta de Darwin requiere **tomar en serio** el papel de los aspectos contingentes del mundo en las **explicaciones** de ese orden biológico. No Dios, sino aspectos contingentes de la **interacción** de los organismos con su medio **ambiente** son, por lo menos **parcialmente, responsables** del orden natural. **Como vimos en el capítulo anterior**, esto era en principio inaceptable en el contexto de la **metodología** de la **vera causa** que se aceptaba **como** la formulación correcta del **método** científico y de la estructura de las explicaciones en la ciencia. Ahora bien, lo que nos interesa hacer aquí es profundizar un poco más en la **manera** como lo contingente se incorpora en las explicaciones darwinistas.

§ 2. EL PRINCIPIO DE INDIVIDUACIÓN DE LAS ENTIDADES BÁSICAS DE LA TEORÍA ES HISTÓRICO

Inicialmente, **en** la primera versión de su teoría, el *Ensayo* de 1844 (y **en** otras versiones anteriores a la publicación de *El origen*), Darwin concebía todavía la producción de variaciones heredables en los **organismos** acoplada al esfuerzo que una especie tenía que hacer para adaptarse a un medio ambiente. La producción de variaciones se entendía **en** esta teoría inicial **como** un proceso funcional **fisiológico**, análogo a la **exudación**, por **ejemplo**, cuyo fin es mantener estable la **temperatura** corporal **en** los seres humanos. El fin de la producción de variaciones, dice Darwin en el *Ensayo* de 1844, es **mantener** a las poblaciones adaptadas a las cambiantes condiciones de su medio **ambiente**. La **variación** es, en esta versión de la teoría, un proceso dirigido a un fin, y por lo tanto totalmente **congruente todavía** con un **argumento** de diseño. Al parecer, fue de la economía política de su tiempo, y sobre todo de las teorías de Adam Smith, de donde Darwin tomó la idea que le iba a **permitir** encontrar un mecanismo que no requería una explicación sobrenatural para dar cuenta de su papel en la producción de nuevas variedades y especies.

En **primer** lugar, Darwin toma de los economistas la idea de que la presión de población, de la que **hablaba** Malthus, **incide particularmente** entre los individuos de una **misma** especie, y **no** entre diferentes especies, **como** solía entenderse el concepto de "lucha por la existencia" **antes** de Darwin. De **esta manera**, el **agente** del cambio no son las especies, sino los individuos. Si los individuos

en coimpetencia son los agentes del cambio, entonces es posible abandonar la caracterización esencialista de las especies y caracterizar la realidad biológica como un mundo de individuos en competencia (en analogía con la manera en que Adam Smith **veía** el mundo económico); y la relación entre el medio **ambiente** y las diferentes especies como **el** producto del equilibrio entre diferentes fuerzas (de la misma manera en que el mercado libre hace que la demanda y la oferta se equilibren). La teoría económica de Adam Smith había vuelto plausible la idea de que un sistema coimpuesto por individuos **que** no actúan de **manera** coordinada, pero sí buscando su propio beneficio, podía llegar a establecer una compleja estructura colectiva que tuviera como **consecuencia**, además, la especialización de las diferentes partes y un aumento de la complejidad de la colectividad como un todo. Según Adam Smith, **había** una relación de refuerzo mutuo entre la especialización y el crecimiento de una economía de mercado. La división del trabajo acarrea mayor eficiencia y menor competencia, y por lo tanto tendía a la maximización de las ganancias del comercio.

Esto sugiere un cambio importante en el concepto de variación. Las variaciones no pueden depender de las "necesidades" de las especies, y por lo tanto no pueden **explicarse** como si **tuvieran** la función de mantener la adaptación de la especie. Así, el mecanismo de **variación**, postula Darwin, tiene su asiento en los individuos, y es un **mecanismo** que **simplemente** genera variaciones **indefinidamente**, **sin** estar acoplado a las necesidades de adaptación. De esta manera, Darwin cambia radicalmente la **ontología** de la teoría de la evolución, de un concepto esencialista tradicional de especie, a un concepto de especie que agrupa individuos que comparten ancestros en la **misma medida**, pero que fuera de esa relación histórica, son producto de variaciones ciegas sujetas a las fuerzas **selectivas** de su medio ambiente. Implícitamente, además, Darwin introduce un criterio de individuación de especies, esto es, un criterio que nos **permite** decidir **cuándo** estamos hablando de la misma especie o cuándo de especies diferentes, que se basa **en** las **contingencias** del proceso por medio del cual los individuos **comparten** una determinada genealogía.

Así, las explicaciones de la biología **darwinista** son **históricas** en el sentido de que el criterio de individuación de las entidades apropiadas para describir el proceso evolutivo es un criterio histórico (genealógico). Este proceso histórico es un proceso causal que conecta, por medio de relaciones filogenéticas (**ancestro**-descendiente) a los diferentes miembros de un taxón, y que en particular explica la distribución de los rasgos o caracteres en un taxón. La evolución, según Darwin, conecta generaciones de diferentes organismos a través de **mecanismos** hereditarios, que a su vez requieren que esas generaciones **estén** conectadas por **mecanismos** de reproducción. Pasemos ahora a formular el segun-

do sentido en el que se puede hablar de las explicaciones **darwinistas** como explicaciones históricas.

§ 3. LAS EXPLICACIONES DARWINISTAS SON NARRATIVAS

La teoría de Darwin es una teoría histórica (*i.e.*, una teoría cuyas explicaciones **involucran** de **manera** esencial aspectos **contingentes** del mundo), en la medida en que sus explicaciones **toman** la **forma** de una narrativa.

Una explicación narrativa consiste **en** una serie de **narraciones** de muy diferente tipo dirigidas a respaldar la credibilidad o realidad de cierto suceso o grupo de sucesos. Richards (en prensa) considera que las diferentes **técnicas** y recursos de la narración se dirigen a establecer lo que él llama un "índice de realidad". Cuanto mayor es el índice, más pueden los sucesos narrados considerarse una descripción fidedigna de la realidad. Las diferentes técnicas incluyen las notas a pie de página, la bibliografía, la calidad de la prosa, la coherencia interna del relato, la coherencia con el conocimiento del lector, etcétera. Entre los diferentes recursos se encuentran, **en** primer lugar, los diferentes hechos, **experimentos**, teorías y metáforas que pueden traerse a **colación** para aumentar el **índice** de realidad del suceso que se pretende explicar.

Richards sugiere una oposición entre las explicaciones por leyes y las explicaciones narrativas. En un sentido que elaboro a continuación creo que una explicación narrativa es más general que una explicación por **subsunción** bajo leyes. En **primer** lugar, y esto es algo que Richards reconoce, una explicación narrativa puede incorporar, como uno de sus elementos, una explicación por leyes; Darwin, por **ejemplo**, requería demostrar la conexión que había entre descendencia con modificación (producto de los **mecanismos** **hereditarios**) y la **selección** natural, para poder explicar la **historia** de la vida como un proceso causal. **Esto** lo llevó a incorporar en su narrativa una serie de experimentos y observaciones, **hechas** por él o por personas **confiables**.

Así, por ejemplo, para mostrar la ubicuidad de la presión de población sobre los diferentes organismos, Darwin calculó la fecundidad de varios animales, incluidos los elefantes, que son animales de **periodos** muy largos de crianza. La diferencia entre la **tasa** de crecimiento de la población calculada a partir de la fecundidad, y la población actual es una medida del impacto de la presión de población sobre las diferentes variantes. Darwin hizo referencia a un especialista en abejas, quien menciona que se **ha demostrado** experimentalmente que las abejas de un **panal** requieren **no menos** de **6** o **7** kilogramos de **azúcar** seca para producir la cera suficiente para un **panal** proleído. Según Darwin, esto muestra **nuevamente** que las abejas están bastante presionadas para conseguir **néctar**.

Por supuesto, dice Darwin (El *origen*, p. 234), el éxito de una colonia particular o de una especie dada depende de muchos factores además de la cantidad de miel que pueden recolectar, por ejemplo, de los tipos y la cantidad de parásitos que atacan a esa especie o colonia particular. Pero suponiendo que es la cantidad de miel recolectada la que determina el número de colonias que pueden existir en una región, está claro que pequeñas variantes en el instinto para liacer el panal, que permitieran el ahorro de cera —por ejemplo, haciendo que una pared sirviera a dos celdas— sería una ventaja para la especie que la selección natural tendería a preservar dada la presión de población sobre las diferentes variedades.

Darwin describió con exquisito detalle cómo diferentes especies de abejas construyen su panal, de manera que claramente apunta a la gran variedad de maneras de construir las celdas que utilizan las diferentes especies, y a la gran variedad de fuentes disponibles de variabilidad en el instinto que lleva a las abejas a construir su panal. En particular, Darwin mostró que las diferentes especies no construyen sus panales con la misma perfección. Después de hacer una descripción cuidadosa del tipo de panal construido por una especie mexicana del género *Melipona*, Darwin indicó las pequeñas modificaciones que sería posible hacer en la manera instintiva en que se construye el panal, las cuales permitirían que estos panales tuvieran la perfección de las construcciones de otras especies. Para mostrar esto, Darwin llevó a cabo una serie de experimentos, que por medio de intervenciones cuidadosas en determinados momentos de la construcción del panal, sugieren cómo pequeños cambios en la técnica de construcción, que es plausible pensar como el producto de variaciones marcosas, llevarían a la construcción de panales más eficientes. Dada la presión siempre presente por conseguir néctar, estas variantes tenderían a propagarse, suponiendo que esas variantes en el instinto fueran heredables.

Una narrativa no sólo incorpora experimentos y observaciones, también integra de manera importante metáforas y analogías. Por ejemplo, como ya vimos, Darwin extrapoló la metáfora de la presión de población postulada por Malthus en su teoría de las poblaciones humanas, de manera tal que se aplicara a todos los organismos. Así, la presión de población puede entenderse en analogía con la fuerza de la gravitación de Newton, esto es, como una fuerza que existe en todo tiempo y lugar y que, por lo tanto, puede interpretarse como una causa verdadera de la transmutación de las especies. De manera análoga a como Hume pensó el mecanismo psicológico de la formación de creencias como un sistema autónomo, a como Adam Smith concibió la economía como un mecanismo autónomo del gobierno e impulsado por el autointerés, y a como Lyell pensó que la Tierra era un mecanismo autónomo impulsado por una causa física

externa a la máquina-mundo, la vida en la Tierra, para Darwin, era un mecanismo autónomo para la producción y selección de variantes.

Nótese que todas éstas, y muchas otras metáforas importantes en la filosofía y la ciencia modernas, por ejemplo la metáfora de Hobbes de los individuos como átomos, y otras similares en Locke y Hume, elaboran la metáfora inicial básica del modelo cartesiano del mundo: el dualismo entre la materia inerte y la identificación de las causas del cambio con fuerzas externas al sistema en proceso de cambio. La concepción inmanentista de las leyes, de la que hablamos en la introducción, que guió la filosofía de Lamarck y de muchos otros científicos europeos del siglo XIX, no tiene cabida en la metáfora básica del mundo como una máquina en el sentido de Descartes y Newton.

Muchas veces se ha criticado a Darwin por haber recurrido a una metáfora distintiva del capitalismo naciente (por medio de su lectura de Adam Smith) para elaborar su modelo de la manera como los mecanismos de variación y herencia pueden generar cambios como resultado de la presión de población. Pero es importante recordar que la metáfora de Smith es sólo una de las muchas que han surgido de la concepción del mundo implícita en la física de Descartes y Newton. Es importante tener en cuenta algo similar cuando se habla de la selección natural simplemente como una metáfora que extrapola la acción de seleccionar en la vida diaria, o que explota la analogía con la selección artificial. Las buenas metáforas, las metáforas con poder explicativo, no surgen de conexiones superficiales meramente lingüísticas, sino que deben verse más bien como parte de un proceso de entendimiento del mundo mediante la construcción de conceptos que articulan nuestras razones para creer, y que por medio de ese refuerzo mutuo obtienen un alto índice de realidad.

Darwin pensaba que la selección natural, en analogía con la fuerza de la gravitación universal en la teoría de Newton, era una fuerza con aplicación universal en el mundo orgánico. Hay muchas otras analogías que se pueden desarrollar, y que Darwin de manera implícita o explícita desarrolló. La selección natural, hasta cierto punto, es agregativa, como las fuerzas de la física newtoniana. La teoría económica de Adam Smith había hecho plausible la idea de que un sistema compuesto por individuos que no actúan de manera coordinada, sino buscando su propio beneficio, pudiera llegar a establecer una compleja estructura de las diferentes partes y un aumento de la complejidad de la colectividad como un todo. De manera similar, Darwin pensaba, por ejemplo, que:

Incluso la disminución del tamaño de una especie de halcones afecta instantáneamente a todo lo demás [...] Puede decirse que hay una fuerza, como de cien mil cuñas, tratando de insertar toda clase de estructura adaptada en los huecos de la eco-

nomía de la naturaleza, o **más** bien tratando de abrir hueco empujando hacia afuera las **más** débiles. La causa final de todas estas **cañas** debe de ser la selección de uña estructura apropiada para adaptarla al cambio. (Notebooks, 1987, pp. 374–375)

La metáfora de las cañas y de la presión ubicua de la población se **refuerzan** mutuamente. La explicación del pasado mediante la teoría de la evolución tiene un alto **índice** de realidad en la **medida** en que diferentes piezas de evidencia, de diferente origen, relacionadas con diferentes **metáforas** e integradas en diferentes analogías, contribuye a **delinear** una **historia** en la **que** todos estos elementos se **refuerzan mutuamente**.

Sin embargo, una explicación narrativa utiliza de manera cuidadosa las analogías para no comprometerse con aspectos no deseados. Por ejemplo, Darwin tomó de Lyell la idea de que una causa verdadera, que **actúa durante un** tiempo muy largo, es capaz de producir efectos de gran envergadura. No obstante, a diferencia de Lyell, que pensaba que el uso de una causa verdadera lo **comprometía** con un recuento cíclico de la historia de la Tierra, Darwin concebía la selección natural como generadora de una asimetría inexorable entre el pasado y el presente. La selección natural es un agente del **cambio** histórico. Por supuesto, esta diferencia en el uso de la *analogía* está **íntimamente** ligado a la diferencia de fondo entre Lyell y Darwin. Esto es, al **hecho** de que para Lyell, pero no para Darwin, si se da por **hecho** que el proceso es **único** e **históricamente** irreversible, entonces es imposible identificar las causas que en el pasado ayudaron a **conformar** el presente.

Para Lyell, si un fuego central **fuera** la causa primaria del cambio geológico, en la medida en que ese fuego debe de haber sido mucho **más** intenso en el pasado, entonces, no es posible conocer las causas que conformaron la **superficie** de la Tierra (ya que tales causas ya se han inodificado). En esa **medida**, la geología no podría **ser** una ciencia. Para Darwin, sin embargo, el **abandono** de la concepción **esencialista** de las especies le permite conjuntar la tesis de que la **selección** natural es un agente del **cambio histórico con** la metodología de las causas verdaderas, por lo menos según Darwin.

Este refuerzo mutuo, que se traduce en un aumento del índice de realidad de los procesos que la teoría **postula**, es lo que la narrativa logra, y es lo que se conoce como una explicación narrativa. Es posible pensar que las explicaciones narrativas son **sólo** un recurso pragmático requerido por nuestra falta de capacidad para conocer las leyes de la **biología** (que podrían ser demasiado **complicadas** para que **pudiéramos** llegar a conocerlas). Lo que estoy sugiriendo, sin embargo, es **que una explicación** por leyes, por lo **menos** entendida en el sentido tradicional del que **hemos** hablado en este libro, no es la mejor manera de **entender** la estructura causal del mundo según algunas de nuestras **mejo-**

res teorías. Las "causas" de las que habla la teoría de la evolución (y cualquier otra teoría "histórica") son explicativas en un sentido que va **más allá** de la caracterización de causas mediante leyes que distingue al patrón **newtoniano** de explicación por leyes. En la siguiente sección examinaré muy brevemente la posibilidad de extender el **patrón** por leyes para dar cuenta de la estructura de las explicaciones en biología evolucionista. **Este** es un tema muy complejo que no **podemos** examinar aquí en **detalle**. Para una discusión **más a fondo** refiero al lector a la **bibliografía pertinente** que se **menciona** al final del capítulo.

§ 4. LA BÚSQUEDA DE LEYES Y EL CARÁCTER HISTÓRICO DE LAS GENERALIZACIONES EN LA BIOLOGÍA EVOLUCIONISTA

Muchas veces la complejidad del problema filosófico con el que nos confronta Darwin no se aprecia porque se piensa que hay otras soluciones más fáciles que, por lo **menos** en principio, nos permiten fundamentar la **teoría** por **medio** de una reducción de sus explicaciones al **patrón** de explicación por leyes.

Se cree que si **fuera** posible encontrar leyes de suficiente generalidad en la biología, **entonces** sería posible **reformular** las **explicaciones** por **selección** natural de **manera tal** que se **transformaran** en casos especiales del patrón de explicación por leyes. Este tipo de empresa presupone que **previamente** se **identifique** el azar como un concepto objetivo portador de cierto tipo de estructura que es **formulable** en términos de leyes, y que por lo tanto puede ser parte de una **explicación** por **subsunción** bajo leyes. Una posible manera de llevar a cabo este proyecto es encontrar la manera de generalizar **satisfactoriamente** el **patrón** de explicación por leyes para incluir leyes **probabilistas**. Como veremos en el capítulo **siguiente**, esto no parece ser posible, por lo **menos** no parece ser posible **sin** abandonar un presupuesto central para **este patrón** de explicación: la independencia del contexto respecto al "índice de realidad" de una **explicación**. Además, incluso si fuera posible **reformular** cada uno de los **diferentes** componentes de una explicación narrativa **como** una **explicación** en **términos** de leyes, todavía resultaría muy difícil **pensar** cómo una explicación por leyes podría organizar la evidencia de la manera productiva como la organiza una buena explicación narrativa, esto es, robusteciéndola **mediante** la **utilización** de diferentes tipos de evidencia, metáforas, analogías, **experimentos** y leyes, y **organizándola** en un todo coherente y **convinciente**.³

³ Puede hablarse, en este caso, de robustez "descriptiva", concepto que se refiere al modo en que se llega a una misma descripción utilizando diferentes métodos. Por ejemplo, la idea de que las alas de un murciélago, las aletas de una ballena y las patas de un caballo son estructuras homólogas (esto es, que comparten un ancestro común) se ha robustecido mediante evidencias, métodos y técnicas

En todo caso, suponiendo que este problema pueda resolverse, o que, desde el punto de vista de una teoría del conocimiento convincente, este tipo de objeción no sea pertinente, **confrontamos** de todas maneras el siguiente problema: encontrar y caracterizar las leyes de suficiente generalidad y alcance en biología que nos permitan **reformular** una explicación, por lo menos en principio, de una manera plausible y conceptualmente satisfactoria. Éste es el tema de la primera **parte** de esta sección.

Puede parecer fácil establecer la conclusión de que no **hay** leyes en la biología en el sentido pertinente. La mayoría de los sucesos evolutivos como la extinción de los dinosaurios o el origen de las aves son sucesos **Únicos** e **irrepetibles**. En la medida en que los sucesos evolutivos son singulares e irrepetibles no puede pretenderse que una explicación por subsunción bajo leyes sea posible. Este tipo de argumento se ha utilizado frecuentemente para argüir en favor de la estructura narrativa y en detrimento del patrón de **explicación** por leyes. Sin embargo, nótese que esta tesis va más allá de la defensa que hicimos antes de señalar la **importancia** de las explicaciones narrativas en biología. Esa defensa aceptaba la posibilidad de que muchas explicaciones siguieran el patrón por leyes; y en **particular** no excluye la posibilidad de que cualquier explicación de un **fenómeno** o proceso **particular** pueda ser explicado en términos de leyes. Lo que se pretendía mostrar era que ese tipo de explicaciones no eran **suficientes** para articular el poder explicativo del tipo de explicación histórica peculiar de la teoría de Darwin. La tesis que examinamos ahora es que, del hecho de que los sucesos por explicar sean históricamente irrepetibles, se sigue que no hay **manera** de explicarlos mediante generalizaciones, y por lo tanto de explicarlos en términos de leyes. Ésta es una tesis **más fuerte** que la que se necesita para defender la importancia, e incluso el carácter indispensable de las explicaciones narrativas, ya que pretende mostrar que, en principio, las explicaciones por leyes difícilmente pueden dar cuenta de muchas cosas que son importantes en la teoría de la evolución por selección natural. David Hull ha hecho ver que ningún suceso es único en sí mismo, sino sólo en el contexto de ciertas descripciones. Por ejemplo, la extinción de una especie de dinosaurio en particular **es un** suceso único, pero el suceso de la extinción de una especie debido a cambios **climáticos** es un suceso repetible y **generalizable**. La repetibilidad de un suceso es parte de la manera como lo consideramos parte del mundo.

muy distintas entre sí, provenientes de la embriología, la anatomía comparada, la paleontología e, incluso, la bioquímica y la genética. La idea de robustez, sin embargo, no es exclusiva de este tipo de explicaciones. Otros autores han hablado de robustez teórica y de robustez de los **fenómenos** (véase Wimsatt 1981: "Robustness, Reliability, and Overdetermination", en M. Brewer y B. Collins (comps.), *Scientific Inquiry and the Social Sciences*, San Francisco, Jossey-Bass, 1981).

Me parece que Hull está en lo correcto cuando **afirma** que en principio es muy difícil establecer la imposibilidad de formular leyes acerca de cualquier tipo de sucesos, **precisamente** porque todo suceso, por irrepetible que sea en un sentido, puede ser parte de una generalización cuando el suceso se describe de otra manera. Pero de esto no se sigue que esas descripciones de sucesos que nos **permiten** generalizarlos sean causalmente pertinentes en una explicación. *En la medida en que las explicaciones por selección natural pretenden ser explicaciones causales, el punto de desacuerdo importante no es si hay posibles generalizaciones de sucesos, sino si esas posibles generalizaciones de diferentes sucesos históricos puedan integrarse y triangularse en la reconstrucción causal de un proceso con alto índice de realidad.*

Es posible encontrar candidatos a leyes con poder explicativo en la teoría de la evolución. Por ejemplo, la llamada ley de Mayr, según la cual en ciertas **circunstancias** la especiación ocurre sólo **alopátricamente** (*i.e.*, como consecuencia del aislamiento geográfico de la población). Esta ley es útil para explicar por qué la especiación ha ocurrido en ciertas circunstancias y no en otras. Para explicar la gran diversidad de especies relacionadas de aves en un archipiélago, la ley de Mayr permite recurrir al aislamiento para dar cuenta de cómo las diferentes poblaciones de una misma especie variaron hasta volverse especies diferentes. Pero, ¿hasta qué punto el poder explicativo de estas leyes no proviene de su capacidad **previamente** probada de explicar algo como parte de las narrativas que han sido robustecidas a lo largo de la historia de la biología? Leyes como la de Mayr no pueden entenderse como leyes universales restringidas, y la pregunta surge entonces, ¿de dónde proviene su poder explicativo?

La ley de la gravitación no se aplica, **estrictamente** hablando, a un cuerpo en caída libre si, como siempre ocurre, el cuerpo está sujeto a otras fuerzas, como las **electromagnéticas**, la de **fricción** del aire, etcétera. Pero, como Galileo ya nos lo hizo ver en el siglo XVII, en el caso de la mecánica, por lo menos en principio podemos restar las diferentes fuerzas y entender cómo se aplica la ley de la gravitación universal en la situación ideal en la que sólo esa fuerza actúa. Ésta es **precisamente** la característica distintiva de la **física newtoniana**: la agregatividad de los efectos de las fuerzas fundamentales nos permite hacer abstracción de los efectos del medio ambiente en la caracterización de las fuerzas que explican el comportamiento dinámico de los sistemas. Pero en el caso de generalizaciones como la ley de Mayr, no es posible **hacer** esa **distinción** entre lo que la ley explica y el medio ambiente, y por lo tanto parece ser totalmente **compa-**

⁴ Nancy Cartwright, por ejemplo, trata de explicar cómo ese tipo de leyes restringidas pueden servir como base para explicaciones en la física, en *How the Laws of Physics Lie*, sin necesidad de suponer que esas leyes derivan su poder explicativo de leyes de validez universal.

tible con la situación decir que la ley de Mayr es una generalización accidental que explica, lo cual sería otra manera de reconocer la importancia de los aspectos contingentes del mundo en la estructura de las explicaciones en la teoría de la evolución. *El hecho importante es que las generalizaciones en la teoría de la evolución no pueden desligarse de ciertos aspectos históricos o contextuales que permiten que la generalización sea una generalización con valor explicativo.*

Una distinción importante entre las explicaciones por subsunción bajo leyes y las explicaciones evolucionistas tiene que ver con el hecho de que, si bien las primeras no son por lo general más que "esbozos de explicaciones" (en el sentido de que por lo general no especificamos todas las condiciones iniciales que caracterizan el suceso particular que debe explicarse ni todas las leyes que entran en la explicación), por lo menos en principio *suponen que la explicación puede irse completando* hasta llegar a una explicación que incluya todas las condiciones iniciales y todas las leyes pertinentes. Pero en las explicaciones evolucionistas no es posible completar una explicación en este sentido; la misma idea de completar una explicación no tiene un sentido claro. La completitud puede darse desde diferentes perspectivas, de las que depende lo que se requiere completar en un caso en particular.

Es más, hay casos en los cuales una explicación no requiere ni siquiera leyes para completarse. Por ejemplo, ¿por qué no había caballos en América cuando llegaron los españoles? se responde con la descripción de un hecho: porque se extinguieron antes de que llegaran los españoles. Eso es todo. No es necesario dar leyes adicionales, aunque sería posible reformular la explicación en esos términos, pero de una manera que contribuiría más a confundir que a aclarar la explicación.⁵

Por otra parte, si preguntamos por qué tenemos dientes molares, la respuesta va a requerir, en ciertos contextos, una referencia a un proceso adaptativo, a una narrativa que describa tal proceso. Como parte de esa narrativa se van a reconstituir las fuerzas selectivas que explican la adaptación. Pero, las fuerzas selecti-

⁵Por supuesto, en la física también hay explicaciones que citan sólo hechos. Por ejemplo, si preguntamos por qué se rajó el radiador del auto, la explicación puede ser porque la temperatura descendió a 20 grados bajo cero y no tenía líquido anticongelante. Pero típicamente esta explicación se interpreta sólo como un esbozo de explicación, la explicación completa citaría una serie de leyes acerca del comportamiento de los líquidos en el cambio del estado líquido al sólido y muchas otras leyes. En la física es ciertamente plausible pensar de esta manera, aunque hay también algunas dificultades. Por ejemplo, si damos como explicación en el caso anterior que la temperatura descendió a 20 grados bajo cero, esa explicación no parece depender de cómo completemos la explicación por medio de leyes y condiciones iniciales. Parece ser entonces que sólo un prurito metafísico es lo que nos impulsa a pensar en la explicación como incompleta en un sentido específico que ignoramos.

vas en cuestión no son independientes del contexto de la explicación en el cual se describe el suceso por explicar. No hay una ontología de fuerzas de selección en el mismo sentido en el que podemos hablar de una ontología de fuerzas físicas. *Las fuerzas físicas son identificables independientemente de las diferentes descripciones que demos de ellas* (por lo menos según la metafísica usual de la física newtoniana), *mientras que las fuerzas de selección no lo son.* Esta diferencia está ligada a lo que me parece es la diferencia central en la estructura de los dos tipos de explicaciones de los que estamos hablando: la manera en la que las diferentes explicaciones se integran en un cuerpo de conocimiento científico según el modo como son completables. Se puede decir que el tipo de explicaciones por subsunción bajo leyes es completable *intrínsecamente*, mientras que el tipo de explicaciones históricas, que son características de la teoría de la evolución de Darwin, son completables en un sentido extrínseco que podemos bautizar como *triangulación jerárquica*. Procedo a explicar esta diferencia.

Una explicación por leyes es completable ya sea porque es posible agregar condiciones iniciales, o bien porque es posible agregar leyes que refuercen la conclusión. Pero, en principio, cada explicación es independiente de otra explicación por leyes, y el sentido en el que la explicación es completable, o el grado de completitud, sólo puede referirse a la medida en la que una explicación comparte leyes o condiciones iniciales, o el *explanandum* (i.e., lo que queremos explicar). En otras palabras, el grado de completitud puede identificarse con el grado en el que las premisas requeridas para la explicación de un *explanandum* en particular han sido hechas explícitas. Dos explicaciones acerca de un mismo *explanandum* o se "suman", o se contradicen. Siendo así, dos explicaciones se refuerzan mutuamente y por lo tanto contribuyen a elevar el "índice de realidad" de la explicación sólo en tanto que las dos explicaciones contribuyen a explicar el mismo suceso. Esto es, dos explicaciones por leyes se refuerzan mutuamente sólo en la medida en que comparten el *explanandum* y no se contradicen. En contraste, las explicaciones narrativas son completables en un sentido en que diferentes explicaciones que no comparten el mismo *explanandum* pueden reforzarse mutuamente. Este contexto no debe verse meramente como un contexto de fondo, sino como una estructura objetiva con respecto a la cual evaluamos el índice de realidad de la explicación. Esta estructura objetiva que incluye aspectos azarosos del mundo es lo que le confiere el poder explicativo a las explicaciones evolucionistas.

Por ejemplo, Darwin le confiere un alto índice de realidad a la explicación de la transmutación de las especies por medio de un mecanismo de selección natural, una explicación que involucra un complejo proceso de integración de metáforas, analogías, experimentos y leyes en una estructura de fondo en la cual el

mecanismo de la selección **natural** aparece como un mecanismo indispensable, si se quiere evitar recurrir a causas finales para la explicación. Las diferentes explicaciones narrativas se articulan en explicaciones de un nivel de complejidad mayor, explicaciones **que** en conjunto le confieren un índice de realidad mayor a las **explicaciones** particulares, sobre todo en la medida en que éstas son indispensables o difícilmente **sustituibles**.

Finalmente quiero concluir este **tema** con una aclaración. Cuando se dice que las leyes son indispensables para explicar, es necesario **aclarar** el sentido en el que **esto** es una aserción correcta. Es correcto que el acto de explicar, como una actividad propiamente científica, requiere generalizaciones que apoyen la explicación; pero en el caso de las explicaciones narrativas o **históricas**, el hecho de que las diferentes explicaciones sean interdependientes, y que su estructura **jerárquica** sea un aspecto importante de la manera como se le adjudica un índice de realidad a la explicación, permite casos en los cuales una explicación en particular no recurre directamente a generalizaciones. Si la explicación no refiriera en ningún sentido a una generalización, ni siquiera sería **posible** entender qué es lo que se quiere explicar cuando surge la pregunta de por qué no **había** caballos en **América** cuando llegaron los españoles. Por lo **menos** "caballos" y "**españoles**" se refieren a generalizaciones, y explicar recurriendo a un hecho, a un suceso de extinción, tiene sentido en el marco de toda una serie de explicaciones de ese tipo, que en parte involucra reconocer un hecho de extinción como cierto tipo de generalización: todos los caballos se extinguieron. El hecho mismo es implícitamente una generalización.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

David L. Hull, "Sujetos centrales y narraciones explicativas", en: S.F. Martínez y A. Barahona (comps.) (en prensa), *Historia y explicación en biología*, México, Fondo de Cultura Económica. En esta antología se encuentra también una **traducción** al castellano del artículo citado de Robert Richards "Explicaciones narrativas" y un artículo de Carlos López Beltrán sobre el tema de las explicaciones narrativas. El artículo de López Beltrán es una buena fuente de **trabajos** recientes sobre el tema. Un artículo de Silvan S. Schweber, "Darwin y los economistas ingleses", aparece traducido al castellano en *Darwin y Wallace, la gestación de una teoría*, un conjunto de artículos compilados por A. Olea y R.B. Klein, Cienfuegos (publicado originalmente en *Journal of History of Biology*, 13 [1980], pp. 195–289).

9

LA DISEMINACIÓN DEL AZAR: EXPLICACIONES ESTADÍSTICAS Y SELECCIONISTAS

En el capítulo anterior vimos **como el** azar y la contingencia, a **través** de la estructura narrativa de las explicaciones, se constituyen en factores explicativos cruciales en la teoría de la evolución. En este capítulo veremos otros dos **tipos** de explicaciones que incorporan el azar como recurso explicativo. Ambos empezaron a desarrollarse en el siglo XIX, y se relacionan con la teoría de la evolución y el desarrollo del pensamiento estadístico de manera estrecha. Las explicaciones estadísticas recurren a datos estadísticos de las poblaciones y a métodos de inferencia estadísticos, para hacer inferencias acerca de poblaciones. Las explicaciones seleccionistas **parten** de la identificación de procesos de variación, herencia y **selección**. Ambos tipos de explicaciones, estadísticas y seleccionistas, utilizan el **azar** como recurso explicativo, pero de manera **muy** diferente. Me **referiré** brevemente a las explicaciones seleccionistas y todavía **más** brevemente a las estadísticas. Mi interés no es dar una caracterización de estos dos tipos de explicación que haga justicia a la importancia central que **tienen** en la ciencia del siglo XX, sino más bien ilustrar la utilización del azar **como** un aspecto estructural de las explicaciones que nos permite establecer criterios para decidir cuándo **podemos** aceptar que una inferencia de efectos a causas es correcta.

Antes de entrar en materia es importante advertir al lector que, por razones que espero **queden** claras después de leer este capítulo y el anterior, no pienso que las explicaciones estadísticas constituyan un **patrón** de explicación, **mientras** que sí creo que podemos decir que las explicaciones narrativas y las explicaciones seleccionistas constituyen un patrón de explicación. Brevemente, **la** idea es que una teoría estadística (en cuyo contexto se articulan las **explicaciones** estadísticas) son teorías de efectos, no de causas, por **ello**, las explicaciones estadísticas incluyen explicaciones con diversos tipos de estructura causal, apoyan inferencias de muy diverso tipo, y pueden **encontrarse** en ejemplos de explicaciones **que** caen bajo cualquiera de los patrones de **explicación** de los que hablamos en este libro.

§ 1. AZAR Y EXPLICACIONES ESTADÍSTICAS

Muchas veces se ha dicho que una de las grandes contribuciones de Darwin es haber introducido el pensamiento estadístico en la ciencia. Theodore Merz, el famoso historiador del siglo XIX, dice que "el estudio del azar ciego en la teoría y la práctica es uno de los grandes logros del siglo XIX", y considera que Darwin y Boltzmann son los dos principales pioneros del uso del pensamiento estadístico en la ciencia. Ésta es una idea muy extendida, y en buena medida me parece correcta. Sin embargo, hay que tener cuidado con la manera como se entiende. Para Darwin, las variaciones son azarosas en cuanto a que no están de ninguna manera acopladas a las adaptaciones; en este sentido el azar es compatible con una concepción determinista del mundo, por lo menos en principio. Sin embargo como vimos en la sección 6.4 esta compatibilidad es sólo aparente. Tomar en serio la estructura de las explicaciones por selección natural requiere considerar con seriedad el azar como principio explicativo, de una manera que ya no es compatible con la concepción laplaciana (determinista) del mundo. Por otra parte, hay una serie de razones independientes, con profundo respaldo experimental, que muestran que la concepción laplaciana del mundo no es una tesis sostenible dado lo que sabemos acerca de la estructura del mundo empírico a finales del siglo XX. Esto refuerza la tesis de que las explicaciones seleccionistas no son reducibles a explicaciones por subsunción bajo leyes. Sin embargo, no trataremos de argumentar en favor de esta tesis en detalle. Refiero al lector interesado a la bibliografía que se menciona al final del capítulo.

Darwin tenía claro que una característica muy importante de las variaciones que ocurrían en los organismos biológicos era que resultaban muy numerosas, esto es, que constituían colectividades muy grandes con respecto a las cuales podíamos hacer cierto tipo de inferencias, que ahora llamaríamos "estadísticas". Por ejemplo, a partir de una serie de experimentos, Darwin llegó a establecer la probabilidad de que las semillas de una gran variedad de plantas flotasen en agua salada durante el tiempo suficiente para atravesar el océano, tomando en consideración el tipo y la naturaleza promedio de las corrientes marinas. De estos experimentos, Darwin infirió la probabilidad de que las semillas de las plantas de una región flotasen en las corrientes marinas durante suficiente tiempo como para atravesar el océano reteniendo su poder de germinación.

Si bien el tipo de razonamiento utilizado por Darwin en el ejemplo anterior (y en muchos otros que se encuentran dispersos en sus escritos) no deja dudas respecto a que los métodos estadísticos permitirían precisar este tipo de razonamiento, Darwin nunca los utilizó. Es sólo alrededor de la fecha de publicación de *El origen* cuando se empezaron a utilizar con éxito diversas técnicas estadísticas en la meteorología y otras áreas de la física, así como en la sociología y la

astronomía. Darwin sabía del trabajo seminal de Quetelet en estadística de poblaciones humanas, y probablemente Whewell incluso le haya sugerido buscar en el trabajo de Quetelet los métodos cuantitativos que le permitieran hacer inferencias de información acerca de las poblaciones. Hay incluso historiadores que han señalado que Darwin hizo la conexión entre los enunciados de Malthus, acerca del crecimiento de las poblaciones, y su teoría de la especiación y la adaptación, leyendo una reseña de Quetelet.

En todo caso, la cuestión es que, indudablemente, hay aspectos importantes de la teoría de Darwin y, en particular, en los diferentes sentidos en los que incorpora el azar y aspectos contingentes de la historia de la vida en las explicaciones que formula en *El origen*, que se prestan a un tratamiento estadístico. Es importante, sin embargo, tener en mente que la teoría de Darwin no es estadística solamente en un sentido; ni lo era en el siglo XIX ni lo es hoy en día. La darwiniana puede entenderse como una teoría estadística en muchos sentidos, y éstos dependen de la manera en que se interprete o se entienda lo que es una teoría estadística. Esto puede verse como un reflejo de las diferentes maneras en las que el azar y lo contingente pueden tener un papel explicativo en la teoría. Detengámonos brevemente en este tema. Empecemos por esbozar cómo es que la teoría de Darwin se desarrolló como una teoría estadística en la segunda mitad del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX.

Darwin tenía la idea de que la mezcla del material hereditario de los padres tendía a preservar los caracteres mejor adaptados. Una de las primeras objeciones serias que se hicieron a la teoría de Darwin fue la de Fleeming Jenkin, publicada en 1867. Jenkin mostraba que en una población en la que los organismos se cruzaban libremente, la distribución de variación se conformaría a "la ley del error", según la cual la variación alrededor de la media va a tener una forma de campana, lo que se conoce como una curva de Gauss. Según esta ley, aquellas variaciones que están más alejadas de la media van a ser más raras.

Según Jenkin, reconocer que la distribución de las variaciones está regida por la ley del error nos lleva a una importante objeción a la teoría de Darwin, incluso aceptando la hipótesis de que no hay límite para las diferencias posibles entre los descendientes y sus progenitores —una hipótesis que no fue aceptada por Darwin y que era considerada bastante discutible—. La objeción es la siguiente: a menos que las variaciones sean dirigidas por un fin externo al mecanismo (algo que Darwin por supuesto no quería aceptar que sucediera en la naturaleza), la mayor parte de las variaciones tendrían lugar cerca de la media, y por lo tanto tendría lugar una regresión a los caracteres originales. Por ejemplo, si un criador de caballos dejara que sus mejores caballos se mezclaran indiscriminadamente, producirían caballos de calidad inferior, nunca mejores. Sólo el buen ojo del criador que constantemente está seleccionando con una inten-

ción en mente puede contrarrestar la tendencia a la media. Pero entonces, no sólo la analogía entre la selección natural y la selección artificial es **altamente** problemática (una analogía que era **importante** para establecer su pretensión de que la **selección** natural era una vera causa, **como** vimos en el capítulo 7), sino que esta conclusión **parecía hacer** imposible que las variaciones mejor adaptadas se diseminaran en la población. Cualquier variación, por mejor adaptada que estuviera, terminaría "ahogándose" en la población.

Darwin nunca pudo responder adecuadamente a **esta** objeción. Trató de responderla **haciendo énfasis** en una distinción que **había** introducido, pero no utilizado ampliamente en su teoría, la distinción entre variaciones únicas y **diferencias** individuales. Las variaciones únicas son diferencias importantes en algunos **ejemplares** de la población (con respecto a algún carácter o **grupo** de caracteres). Las diferencias individuales son una serie de pequeñas diferencias **fenotípicas** distribuidas continuamente en la población. Darwin señaló que su teoría se aplicaba a las diferencias individuales, y estaba dispuesto a conceder que las variaciones únicas tendían a desaparecer de una población. La respuesta de Darwin, sin embargo, es insatisfactoria por muchas razones, una de las cuales es que supone, sin ninguna otra razón que la necesidad de preservar la teoría, que las variaciones **tienen** la continuidad requerida para que la selección natural actúe eficazmente y la población se mantenga adaptada al medio ambiente.

Esto marca el inicio de una serie de esfuerzos, emprendidos por los seguidores de Darwin, por reconciliar la estadística con la teoría de la evolución. Una serie de trabajos de **Francis Galton** y otros darwinistas conocedores de las herramientas estadísticas sólo ayudaron a **confirmar** la hipótesis de Jenkin. Galton logró incluso detenninar cuantitativamente en qué medida se perdía un rasgo en cada generación si la cruza entre los organismos de una población era libre. Estos trabajos convencieron a Galton de que **Darwin había** cometido un error al creer que el énfasis en las variaciones continuas permitía responderle a Jenkin, y trató de mostrar que la única manera de responder a esas críticas era tomando en serio las variaciones únicas, no las continuas, las cuales ocurren rara vez en las poblaciones, pero son admirablemente adaptadas. La discusión acerca de si la teoría de la evolución por **selección** natural de Darwin **debía** inodelarse en **términos** de variaciones únicas o de diferencias individuales, hizo mucho por integrar, de manera constitutiva en la teoría **darwiniana**, los métodos estadísticos de inferencia, que en el siglo XX culminan con la integración de la **genética** en la teoría de la evolución.

Esta discusión marca un problema de fondo. La decisión acerca del tipo de variación que **modela** la teoría de la evolución debe verse como una pregunta **empírica**, pero además como una cuestión directamente relacionada con el problema del tipo de generalizaciones estadísticas que la teoría puede incorporar

como premisas de explicaciones. Las desviaciones de lo esperado, según esas **generalizaciones**, **enmarcan** aquello que requiere explicación. Esta breve reseña de los inicios de la **incorporación** de los **métodos** estadísticos en la **teoría** de la evolución, intenta mostrar **cómo** desde el siglo XIX ha habido una viva discusión acerca de **cómo** incorporar **las** probabilidades (**y**, a través de ellas, el azar) en la teoría de la evolución.

Las discusiones acerca de la manera en que los **métodos** estadísticos de inferencia **entran** en la **teoría** de la evolución, no han amainado. Por el **contrario**, la **filosofía** de la biología contemporánea parece más que nunca preocupada y dividida respecto al sentido en el que la teoría de la evolución es una teoría estadística. La historia de la biología en el **siglo XX** puede **narrarse** en buena parte haciendo un recuento de **este** tipo de discusiones. La introducción de **métodos** cuantitativos en la **genética** por parte de Mendel, y el desarrollo de sus ideas por parte de diferentes grupos de investigación a principios del siglo xx, **hasta** culminar en las teorías de **Ronald Fisher**, **John Haldane** y **Sewall Wright**, pueden verse como el desarrollo de diferentes maneras en las que se trata de incorporar el **azar** y la contingencia en la teoría de la evolución, a través del uso de modelos estadísticos de **inferencia**. La discusión **entre** Fisher y Wright, que se **inicia** en la década de los treinta, es acerca de la importancia de los factores azarosos en poblaciones **pequeñas**, en las cuales la distribución de caracteres va a estar influida por factores contingentes (la llamada deriva génica), de manera **más** significativa que lo que sucede en poblaciones **mayores**.¹ Wright pensaba que este tipo de factores eran **cruciales para** entender la **manera** en que las **variaciones** se **distribúan** en las poblaciones, favoreciendo así la acción de la **selección natural**. Pero otros biólogos posteriores a Wright (**fundamentalmente** Motoo **Kimura** y su escuela) consideran que es importante distinguir el papel que desempeña el azar en diferentes niveles de **organización**, en el nivel **molecular** y en el nivel **organísmico**. **Mientras** que en el nivel **organísmico** el azar **podría** actuar tal y como lo pensaba Wright, en el **molecular** la deriva génica podría sustituir la acción del mecanismo de la selección natural.?

Por otra parte, también se piensa que el azar y la contingencia cumplen un papel en los patrones que surgen de la especiación y extinción de especies. Hay

¹ Por deriva génica se entiende, en general, la fijación de caracteres (genes), en una población, debida a procesos azarosos. Wright entendía la deriva génica como un "error de muesireo" que ocurría en pequeñas poblaciones (demos).

De acuerdo con la teoría neutral de la evolución molecular, los mecanismos que actúan en el nivel molecular y los mecanismos que actúan en el nivel organísmico se encuentran desacoplados. En algunas ocasiones Kimura (y otros, como Thomas H. Jukes y Jack L. King) se ha referido al hecho de que en el nivel molecular de los organismos tratan con procesos estocásticos, de la misma manera que lo hacemos al hablar de la cinética de gases.

quienes piensan que éste es un factor importante en la evolución, algunos otros consideran que es el factor determinante, y otros piensan que no lo es.

El hecho es que si bien la teoría de la evolución es una teoría estadística, no lo es de una manera específica, y quizás no tiene por qué serlo. No es obvio por qué tenga que haber una sola manera en la que los aspectos contingentes se incorporen en las diferentes explicaciones. Esto podría esperarse sólo en un mundo que se supone está sujeto a leyes generales, y en el cual las diferencias en la manera como nuestros modelos incorporan el azar y la contingencia provienen de las distintas maneras en que ignoramos información.

Sin embargo, esta imagen, que proviene de la concepción laplaciana del mundo, no parece ser correcta. La incorporación del azar como recurso explicativo tiene que entenderse como una expresión de lo que es el mundo según nuestras mejores teorías. No parece ser posible entender la incorporación de aspectos contingentes simplemente como una manera de reconocer que estamos pasando por alto cierta información objetivamente dada. La información que todos nuestros modelos dejan de lado, en la medida en que se refieren a procesos idealizados, no es realmente información en el sentido "aditivo" que requieren los modelos de explicación por leyes. La información que una explicación no recoge no es información que otra explicación, o una explicación más detallada, puede aprovechar, no es información que otro recoge; así, no tenemos por qué suponer que hay cierta información objetivamente existente, independientemente de nuestros modelos explicativos, que se deja de lado a la hora de explicar. Esto es sólo un resabio de la concepción laplaciana del mundo.³

§ 2. EL PROBLEMA DE INFERIR DE EFECTOS A CAUSAS EN LA BIOLOGÍA EVOLUCIONISTA

Iniciaré con una cita de uno de los biólogos más sobresalientes de la segunda mitad del siglo XX, en la cual se habla del tipo de problema que nos concierne en este libro. Richard C. Lewontin comienza el capítulo "Las causas y sus efectos" [*Causes and their Effects*], de su libro *Biology as Ideology*, como sigue:

La biología contemporánea se caracteriza por una serie de prejuicios ideológicos que moldean la forma de sus explicaciones y la manera como sus investigaciones se lle-

³ El indeterminismo de la mecánica cuántica, por ejemplo, se refleja en un holismo de propiedades de los sistemas cuánticos que precisamente requiere el tipo de descripción extrínseca ("no aditiva") que he descrito (véase por ejemplo, Rae A. J. S. *Quantum Physics: Illustration of Reality*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986; hay traducción al castellano *La física cuántica, ¿es inobservabilidad?*). De manera similar, en una teoría de la evolución que abandona el supuesto laplaciano,

van a cabo. Uno de los principales prejuicios tiene que ver con la naturaleza de las causas. Generalmente se busca la causa de un efecto, o si se permiten varias causas, se da por hecho que una causa es la principal y las otras son sólo subsidiarias. En todo caso, estas causas están separadas unas de otras, se estudian de manera independiente, y se manipulan y se interfieren de manera independiente. Más aun, suele considerarse que estas causas existen en un nivel individual, en el nivel del gene individual, del órgano individual defectuoso, o del individuo humano, que se considera es el foco de las causas internas [un organismo] y de causas externas provenientes de una naturaleza autónoma (p. 41 de Lewontin 1991). (Las cursivas son mías.)

Más adelante, Lewontin afirma lo siguiente:

La separación entre la naturaleza y lo adquirido en el medio ambiente [entre "nature" and "nurture"], entre el organismo y el medio ambiente, se encuentra ya en Charles Darwin, quien introdujo la moderna concepción mecanicista a la biología. Antes de Darwin, la idea comúnmente aceptada era que lo que estaba adentro y lo que estaba afuera eran parte del mismo sistema, y que esas partes podían influirse mutuamente. La más famosa teoría de la evolución antes de Darwin era la de Jean Baptiste Lamarck, quien creía en la herencia de caracteres adquiridos. Había cambios en el medio ambiente que causaban cambios en el cuerpo o en el comportamiento del organismo, y según él, esos cambios inducidos por el medio ambiente se incorporaban en la estructura hereditaria de los organismos y de esa manera pasaban a la siguiente generación. En esta manera de ver las cosas lo que está afuera no está separado de lo que está adentro porque las alteraciones externas entrarían en el organismo y se perpetuarían en generaciones futuras (pp. 107-108, 1991).

Estas citas de Lewontin apuntan a uno de los problemas centrales de interpretación en la teoría de la evolución. Darwin pudo hacer de la biología una ciencia mecanicista por medio de la separación tajante entre los organismos y su medio ambiente. Darwin supuso, como parte de la concepción laplaciana de su época, que el mundo exterior tenía sus propias leyes, y los organismos simplemente confrontaban ese mundo y eran seleccionados, o no, dependiendo de que pudieran adaptarse, o no, a ese medio ambiente. Esta interpretación laplaciana del inecanicismo no es obligada, como la teoría de Lamarck nos hace ver. ¿Es posible evitar esa interpretación laplaciana del mecanicismo sin caer en teleología sobrenatural, o en vaguedades metafísicas del tipo que Darwin quería evitar?

tenemos que reconocer una serie de aspectos holistas de las explicaciones que, en particular, en la biología evolucionista, tienen que ver con el tema de la estructura narrativa de las explicaciones, abordado en el capítulo 8, y con la manera de conceptualizar la relación medio ambiente-organismo. A la relación de este tema con el problema de inferir de efectos a causas en la biología evolucionista dedico la siguiente sección

Como hemos tratado de mostrarlo a lo largo del libro, este tipo de cuestiones ponen el concepto mismo de causa en tela de juicio. Desligar el concepto de causa de nuestros esfuerzos por encontrar los patrones más generales de la explicación científica, y por lo tanto de una visión integradora de lo que es la biología y lo que es la ciencia, no tiene más fundamento que prejuicios metafísicos, como la concepción laplaciana del mundo. Como hemos visto en este libro, la historia de la ciencia nos enseña que los diferentes conceptos de causa y los patrones de explicación se han ido confeccionando mutuamente. Como lo decía ya Aristóteles, las causas deben verse como principios explicativos de gran generalidad.

Sólo relajando nuestros patrones de explicación, guiados por una reflexión filosófica sería acerca de los diferentes aspectos del quehacer científico, podemos formular de manera satisfactoria la manera en que un estudio de los efectos puede llevarnos a teorías causales satisfactorias. Desarrollemos un poco más esta idea.

Como ya inencionamos, de finales del siglo XIX hasta nuestros días, pero sobre todo durante la primera mitad del siglo XX, diversos conceptos probabilistas y métodos de inferencia estadísticos se incorporaron de muchas y variadas maneras en la estructura conceptual de la teoría de la evolución. Todas ellas representaban maneras en las que el azar y lo contingente se incorporan en las explicaciones que ofrece la teoría de la evolución. Ahora bien, Lewontin nos está remitiendo al problema de fondo, al problema que involucra el reconocimiento de los supuestos implícitos acerca del concepto de causa que se maneja en la biología, y también a tomar en serio la tarea de criticar esos supuestos. Lewontin dice que pensar las causas en el nivel de los individuos particulares y como si actuaran de manera aislada, es la contrapartida de otro prejuicio, el prejuicio de pensar en el organicismo como el punto de convergencia, esto es, como el foco en el que inciden las fuerzas del medio ambiente a las que los organismos sólo reaccionan de una manera posible, "o se mueren, o se adaptan", para decirlo con la famosa frase de Darwin. Esto, nos dice Lewontin, es falso:

no hay "un medio ambiente" en algún sentido independiente y abstracto. Así como no hay un organismo sin un medio ambiente, no hay un medio ambiente sin organismo. Los organismos no experimentan medios ambientes. Crean esos medios ambientes. Construyen su medio ambiente a partir de partes y piezas del mundo físico y biológico y lo hacen mediante su actividad propia (p. 109).

El rema de la crítica de Lewontin debería parecerles familiar a los lectores de la segunda parte del libro. Voy a retomar algunas de las cuestiones tratadas ahí para mostrar su pertinencia en el caso de la biología.

La discusión de fondo entre Leibniz y Newton es acerca de la naturaleza del espacio-tiempo, pero al mismo tiempo es acerca del estatus ontológico de las propiedades de los cuerpos. ¿Hay propiedades que un cuerpo tiene de manera esencial, como Newton piensa, propiedades que el cuerpo tiene en relación con el espacio absoluto, y nada más, o como pensaba Leibniz, todas las propiedades de los cuerpos sólo existen en relación con el todo que constituye su "medio ambiente"? En la física triunfó el esencialismo de Newton y lo hizo por buenas razones, pero algunas que Leibniz tenía para oponerse a Newton siguen siendo validas fuera de la física clásica. Hay aspectos del mundo que no pueden explicarse por medio de leyes mecanicistas deterministas, en particular el mundo vivo. De lo que se trata no es simplemente de buscar leyes apropiadas en la biología; esto sólo puede ser parte de la empresa. El problema exige una solución radical, el reconocimiento y la elaboración de patrones de explicación diferentes del patrón de explicación por leyes. Y esto, como ya lo dijimos en el capítulo anterior, no implica que la búsqueda de leyes y de explicaciones por leyes en la biología deje de ser importante. Más bien, debemos entender que las explicaciones por leyes están subordinadas a patrones más generales de explicación.

Durante todo el siglo XVII se pensaba que el conocimiento científico era absoluto o cierto, que tenía el estatus epistemológico del conocimiento obtenido por demostración en geometría. El inicio de la ciencia experimental y del reconocimiento de la importancia de las explicaciones por medio de mecanismos plantea una dificultad de fondo a esta concepción del conocimiento científico. El conocimiento obtenido de la experiencia es conocimiento de efectos, no de causas, pero son las causas las que tienen poder explicativo, y pasar de los efectos a las causas no es conocimiento por demostración, ergo, no puede ser conocimiento científico. Enfrentado a este problema, Descartes dijo a Mersenne y a Morin que si todo el conocimiento tuviera que ser demostrativo en el sentido que es demostrativo el conocimiento matemático, entonces Arquímedes no habría demostrado nada.⁴ En otras palabras, si tomamos en serio que aprendemos de la experiencia parece necesario relajar el concepto de demostración requerido para que podamos decir que tenemos conocimiento científico a partir de la experiencia. Descartes le comunicó por carta a Morin cómo pensaba que era posible probar algo a partir de la experiencia. Es necesario tomar en cuenta una serie de intrincados razonamientos que se apoyan mutuamente.

Para Descartes, este tipo de pruebas no pueden considerarse una explicación, porque para él una explicación es una deducción, pero la cuestión es que podemos tener conocimiento probado a partir de los efectos de una causa si la

⁴ Esta discusión es el tema de la sección §1 del capítulo 3

causa se prueba a partir de ciertos efectos y luego esa causa se utiliza para probar otros efectos. Esto puede parecer algo fácil de hacer, pero como lo señala Descartes, no es nada fácil hacer que varios efectos muy diferentes correspondan a una única causa, a menos que ésta sea la "verdadera causa" de los fenómenos.

Esta idea se encuentra desarrollada en Newton y en el ideal metodológico de la vera causa, una historia que estudiamos en la segunda parte del libro. Recordemos la idea central. Ante el problema de inferir de los efectos a las causas, la metodología de la *vera causa* considera que es necesario que se cumpla una serie de requisitos para que podamos decir que estamos hablando de la causa verdadera. Como ya lo vimos en el caso de Newton, esto implica reconocer la importancia de reformular los efectos como parte de una estructura matemática que nos permita identificar las causas una vez que los efectos sean identificados. De esa manera se satisface el ideal de inferencia que los teóricos de argumentos tipo regressus habían buscado. La manera como Newton deriva de sus experimentos la tesis de que la luz blanca está constituida por rayos de diferente refrangibilidad es un ejemplo paradigmático; pero quizás el mejor ejemplo, aunque bastante difícil de entender sea el de la derivación de la ley de la gravitación universal de Newton, tema que examinamos en el capítulo 3.

Este tipo de inferencia tuvo éxito sólo en cierto tipo muy restringido de casos, como los tratados por Arquímedes y Newton, en los que los efectos eran convertidos en algo observable. Este tipo de situaciones, sin embargo, no es muy común en las ciencias teóricas. Este tipo de convertibilidad no es posible cuando se habla de átomos, o cuando se habla de la selección natural. En este caso, pasar de los efectos a las causas requiere la construcción de modelos de los fenómenos en los cuales la "convertibilidad" pueda llevarse a cabo. Sin embargo, no queda claro que ésta sea una metodología ya que no está claro que los diferentes ejemplos de la supuesta metodología puedan verse como ejemplos de una misma metodología, esto es, como ejemplos de un patrón de inferencia que pueda describirse independientemente del contexto en el que la inferencia se construye. Pero la idea es llamativa.

Ésta es precisamente la idea que motiva el desarrollo de la metodología de la vera causa. Esta metodología pretendía describir las inferencias que eran científicamente aceptables pero, como el desarrollo de la teoría de Darwin lo mostró, detrás de la supuesta metodología había buenos ejemplos de inferencias, aunque no había claridad respecto a los criterios que nos permitían sancionar si una inferencia era correcta, y por lo tanto si realmente nos estaba dando criterios claros para decidir cuándo habíamos localizado una causa verdadera. Darwin, muy a su pesar, contribuyó de manera decisiva a mostrar que la metodología de la vera causa adolecía de ambigüedades de fondo que terminaron

por hacer que se abandonara. Esta metodología implícitamente pretendía identificar un patrón explicativo con carácter normativo (excluyente de otros patrones) que nos permitiera hacer explícitos los criterios para decidir cuándo tenemos una buena inferencia de efectos a causas.

La teoría de Darwin, como hemos visto, tiene diferentes maneras de establecer la "convertibilidad" del efecto. Sin embargo, no puede decirse que estas maneras constituyan una metodología en el sentido tradicional antes mencionado, porque de entrada los métodos de "conversión" se encuentran enraizados en toda una serie de contextos que no permiten ni siquiera pensar que puedan implícitamente apuntar a un patrón de explicación de aplicación universal. Por un lado vimos que la teoría de Darwin permite "convertir" el efecto usando explicaciones narrativas. Por otro lado vimos que la teoría de Darwin, sobre todo desde principios del siglo XX, permite "convertir" los efectos por medio de inferencia de tipo estadístico. Estas inferencias son también irreduciblemente contextuales, en tanto que están ligadas de un modo ineludible a la reconstrucción del inodelo en el cual tienen lugar. En la biología evolutiva esto se ejemplifica con la reconstrucción de escenarios evolutivos posibles. Así, para decir que hay una fuerza de selección que actúa sobre una estructura, hay que reconstruir históricamente el contexto de un proceso adaptativo, esto es, el escenario en el cual esa fuerza es un agente causal. La explicación causal por selección natural depende de esa reconstrucción en la cual se identifican las fuerzas. Por ejemplo, a la pregunta de por qué tenemos un corazón, la explicación nos lleva a identificar un contexto o escenario en el cual exista un problema adaptativo. La explicación consiste en identificar la función de esa estructura que, en este caso, es la distribución del oxígeno y de los nutrientes de la sangre en un cuerpo. Sólo en el contexto en el que la distribución del oxígeno y los nutrientes se convierte en un problema adaptativo (esto es, cuando los animales tienen ciertas dimensiones), podemos identificar la fuerza o presión de selección que explica la adaptación de los organismos con corazón.

Esta dependencia del contexto, de las explicaciones permitidas por la teoría de la evolución, tiene implicaciones importantes para la posibilidad de articular filosóficamente el sentido de "convertibilidad" en cuestión. En todo caso, la "convertibilidad" que es pertinente para explicar, en la teoría de la evolución, no puede reducirse a una estructura lógica argumentativa, por lo menos si lo que tenemos en mente es una lógica que, como la deductiva, establece inferencias independientes del contexto (en un sentido que puede precisarse).

En el caso de las explicaciones narrativas, la "convertibilidad" tiene lugar en el contexto de la narrativa mediante la cual se explica. Los paradigmas de explicaciones narrativas que nos ofrece Darwin en El origen nos llevan a través de toda una serie de narrativas interconectadas, que muestran la continuidad de un

proceso, de los efectos a las causas. Y esto se **hace** de una manera que pacientemente excluye otras posibilidades y permite ver el poder explicativo de las supuestas causas **mostrando** la multiplicidad y la variedad de efectos que pueden explicar. Así, una manera de percibir la diferencia entre las causas verdaderas de Darwin y las de Newton es que mientras que en Newton la "convertibilidad" del efecto tenía lugar en el contexto de un modelo matemático que permitía la conversión, en el caso de Darwin la convertibilidad tiene lugar en un contexto narrativo. Como ya bien lo dijo el mismo Darwin, *El origen* es "un largo argumento".

Las explicaciones estadísticas pueden verse también como si generaran otro tipo de contexto para la convertibilidad de los efectos. Una teoría estadística en la ciencia es *prima facie* una teoría de efectos, no de causas. La genética de poblaciones es un caso típico. Y, como nos dice Lewontin (1985),⁵ es muy difícil convertir las observaciones en evidencia de teorías, y por lo tanto convertir los efectos en causas, **cuando**, como en el caso de la genética de poblaciones, los efectos solo se conocen estadísticamente y el contexto en el que tienen lugar las inferencias es altamente complejo.

Los modelos que permiten hacer esas inferencias, como en los casos de las explicaciones de la física newtoniana, de la teoría de la evolución de Lamarck o de la geología de Lyell, suelen involucrar supuestos cuya única y aparente justificación es posibilitar la inferencia de los efectos a las causas propuestas.

Si bien es posible predecir cambios en las frecuencias genotípicas en una población una vez que se conoce el valor de ciertos parámetros teóricos (como los valores apropiados de la adecuación y la estructura poblacional), no es posible inferir esos valores de las frecuencias genotípicas. Esto se debe a la gran complejidad de la situación que se pretende modelar teóricamente, la cual, entre otras cosas, obedece al carácter - e n gran parte desconocido — de las interacciones entre genes individuales. La pregunta de fondo es la siguiente: ¿Es esta complejidad algo que debemos tomar en cuenta en la caracterización del patrón de explicación que ejemplifica este tipo de teorías, o debemos suponer que si bien esa complejidad está allí, las restricciones que impone a nuestra capacidad de inferencia son puramente pragmáticas, sin implicaciones para el modelo filosófico de la explicación que este tipo de explicaciones ejemplifica?

El problema tiene que ver con la pregunta de si estamos dispuestos o no a aceptar como ontológicamente primario un mundo determinista laplaciano re-

⁵ En "Population Genetics", en P. Greenwood *et al.* (comps.), Cambridge University Press, 1985, y de manera más breve en "Hechos y ficciones en las ciencias naturales", trad. al castellano en *Historia y explicación en biología* compilado por S. Martínez y A. Barahona, México, Fondo de Cultura Económica (en prensa).

gido por leyes de aplicación universal. Si aceptamos ese supuesto, las explicaciones estadísticas son en principio dispensables como explicaciones causales. En este caso la genética de poblaciones, como toda teoría estadística, no puede ser una teoría de causas, y sólo puede considerarse una descripción muy útil de las regularidades de los efectos.

La tesis de Lewontin respecto a que debemos abandonar la idea de que los organismos o genes, o cualquier otro nivel individual, son el foco de convergencia de fuerzas que provienen del exterior y ante las cuales el individuo sólo reacciona adaptándose o no, debe verse como un intento de elaborar una ontología apropiada para toinar en serio el tipo de causalidad implícita en teorías estadísticas. Teorías que, como la genética de poblaciones, no permiten el tipo de inferencias a causas que es posible hacer en teorías como la de Newton de la gravitación universal, donde el pasa de los efectos a las causas puede darse de manera "limpia".

En otras palabras, lo que Lewontin señala es que las explicaciones estadísticas deben entenderse en un contexto narrativo amplio, en el cual la inferencia de los efectos a las causas pueda darse de manera satisfactoria. Los diferentes tipos de explicaciones estadísticas están subordinados, en su poder explicativo, a su inserción en narrativas apropiadas.

Ahora me referiré a lo que, en mi opinión, es otro patrón de explicación implícito en la teoría darwiniana de la selección natural, pero que actualmente tiene aplicación en muchas otras áreas de la biología, así como en muchas áreas de la ciencia natural y social: el patrón seleccionista de explicación. Otra vez, en este modelo de explicación seleccionista, el concepto de probabilidad, como una medida cuantificada del azar, y los aspectos contingentes de la relación sistema-medio ambiente desempeñan un papel central en la caracterización del poder explicativo y de la manera como este patrón nos permite pasar del conocimiento de efectos a causas.

§ 3. EXPLICACIONES SELECCIONISTAS

Conceptualmente, la teoría de la evolución es extremadamente simple: cualquier población de organismos con capacidades de reproducción, variación ciega y herencia, y sujeta a presiones de selección, va a irse modificando con el tiempo, de manera tal que los organismos que la constituyen van a adquirir rasgos (adaptaciones) que faciliten su sobrevivencia y reproducción. Nótese que en la descripción anterior de la teoría no dimos mayores indicaciones acerca de los entes que se multiplican, varían y heredan, más allá de decir que son organismos. Pero la estructura de las explicaciones por selección natural no se

limita a dar explicaciones que involucren organismos biológicos. Más aún, **tam-**poco se especifica cuál es el sujeto de las adaptaciones que llevan consigo **ma-**yor sobrevivencia y reproducción. ¿Los "individuos" sobre los que la selección **actúa** son **genes**, cromosomas, organismos, poblaciones, especies, ecosistemas, planetas o mundos biológicamente posibles? Todos ellos han sido explorados como alternativas en la biología del siglo XX en relación con diferentes teorías.

Decidir esta cuestión es importante porque la pregunta de fondo, formulada de otra manera, es: **¿para** qué tipo de entes la teoría de la evolución por selección natural nos **permite** pasar de efectos a causas? Por ejemplo, a la pregunta de si es correcto decir que la **función** de la cooperación entre individuos es la preservación de la especie, o si la función de las plantas verdes es mantener la cantidad apropiada de oxígeno en la Tierra, nuestra respuesta dependerá de si aceptamos o no que hay selección en el nivel de las especies o en el nivel de los ecosistemas. Pero la respuesta no es fácil, pues supone distinguir entre función y consecuencia. Por ejemplo, una consecuencia del hecho de que los pabellones de la oreja tengan la forma y consistencia que tienen es que uno puede colgarse aretes de ellos; pero la función de las orejas no es ésa. La función de las orejas es aumentar la sensibilidad del sistema perceptual auditivo, algo que tiene valor de sobrevivencia y que, por lo tanto, puede explicarse como resultado de un proceso causal de selección que actúa a través de diferentes generaciones "en la misma dirección". Establecer la diferencia entre función y consecuencia es, pues, una tarea que supone de manera esencial la historia del organismo como parte de una especie. De manera similar, establecer cuáles son las unidades de selección requiere establecer cuales son los procesos que son causalmente significativos en la evolución, y esto no es fácil de hacer.

No pretendo resolver estos problemas, sólo los menciono para mostrar el sentido en el que quiero decir que la teoría de la evolución, a diferencia de las teorías (fundamentales) de la física, es, desde un punto de vista conceptual, *ontológicamente plástica*, esto es, se trata de una teoría que no se refiere *en principio* a ningún tipo de ente en particular caracterizado por una cierta estructura **material**. La teoría de la evolución es una teoría sistemáticamente ambigua respecto a sus referentes. Esta plasticidad ontológica de la teoría de la evolución está ligada íntimamente con el hecho de que la causalidad **involucrada** en una explicación evolucionista por selección natural es diferente de la causalidad involucrada en las teorías de la física. Por ejemplo, un rasgo distintivo de las teorías clásicas de la física es que toda acción es local, pero la teoría de la evolución por selección natural no es una teoría de acción local. La selección no se da por medio del contacto; la selección es un proceso que ocurre en un sistema complejo de individuos con cierta estructura interna que les permite multiplicarse, y con restricciones (*constraints*) que regulan localmente las **interacciones**

entre las diferentes individuos, pero la selección no se da en un lugar en particular, es algo que tiene lugar en el sistema como un todo.

La plasticidad ontológica de la teoría es *lo que permite que las explicaciones mecanicistas locales (fisiológicas, químicas, etc.) puedan reconciliarse con una narrativa causal que nos proporciona una explicación naturalista conceptualmente clara y filosóficamente satisfactoria de lo que es un proceso teleológico*. En la medida en que podemos modelar un proceso como aquel que satisface los criterios suficientes para ser considerado un proceso evolutivo, la teoría de la evolución se aplica para predecir que el proceso va a desarrollar adaptaciones en los individuos que componen la población en cuestión. No es difícil, entonces, encontrar procesos evolucionistas por todas partes; *lo difícil es justificar* el uso de este patrón de explicación para pasar de efectos a causas, sobre todo porque, como hemos visto, en el caso de la teoría de la evolución orgánica se da por hecho que las variaciones no están acopladas a la selección, y esto es muchas veces difícil o imposible de justificar.

A continuación veremos un ejemplo de una explicación seleccionista en otra área de la biología. Hay muchos otros ejemplos, pero el que daremos, además de que da fundamento a un **área** importante de la biología y la medicina, es una explicación históricamente significativa pues es la primera explicación **seleccionista** que se formuló exitosamente fuera de la teoría de la evolución orgánica. Me refiero a la teoría seleccionista de los anticuerpos, que sirve de fundamento a la inmunología moderna.

§ 4. LA TEORÍA SELECCIONISTA DE LOS ANTICUERPOS

Una observación muy antigua es que después de padecer cierto tipo de enfermedades, los individuos que se recuperan difícilmente vuelven a padecerlas. Sin embargo, sólo fue en la segunda mitad del siglo XIX cuando se trató de elucidar el tipo de mecanismo responsable de esta respuesta inmunológica. Estaba claro, para muchos de los primeros investigadores de este problema, que su elucidación tendría implicaciones profundas en muchas áreas de la medicina y la biología, puesto que ya para **entonces** se sabía que el mecanismo que fuese estaba ligado al problema de entender la naturaleza de la *especificidad* molecular y celular. Pronto se estableció que los agentes responsables de la especificidad de la respuesta (anticuerpos) eran proteínas globulares presentes en la fracción **gamma** de la sangre, las llamadas **globulinas**.

Estos anticuerpos consisten en una gran variedad de poblaciones altamente específicas, cada una capaz de "reconocer" y **destruir** un tipo de cuerpo extraño, llamado antígeno. Los anticuerpos (como los antígenos) tienen una gran **varie-**

dad de formas, tamaños y estructuras químicas. Esta gran diversidad de anticuerpos conduce a dos preguntas: ¿cómo generan los antígenos la respuesta inmunológica?, y segundo, ¿cómo se produce esa increíble diversidad de anticuerpos? Inicialmente, las teorías que se propusieron seguían, en su mayor parte, un patrón *instruccionista*. Este tipo de teorías suponen que los anticuerpos se construyen a partir de *precursores*, que son orientados por los antígenos, en el nivel de los mecanismos de síntesis de proteínas en la célula, para adoptar formas complementarias a las de los antígenos. Una variante famosa de esta idea fue propuesta por Linus Pauling en 1940. La teoría del "doblado directo" de Pauling daba cuenta de la formación de anticuerpos específicos por medio de un mecanismo de "encaje complementario" entre anticuerpo y antígeno debido a la plasticidad del primero. La idea era que las globulinas no tenían inicialmente una forma definida y que al estar en estrecho contacto con el anticuerpo "copiaban" la forma del antígeno.

Estas teorías tuvieron que enfrentar una serie de objeciones, sobre todo porque no parecían capaces de explicar un conjunto de hechos experimentales ampliamente establecidos por dos o tres generaciones de ilustres inmunólogos. En particular, estas teorías eran compatibles con la posibilidad, excluida por una serie de cuidadosos experimentos, de que por lo menos ocasionalmente este mecanismo de "conformación directa" produjera anticuerpos contra dos antígenos sin ninguna relación, en el caso en que dos antígenos fueran puestos en contacto con una misma molécula de globulina. Otra objeción de peso contra este tipo de teorías era que una teoría instruccionista no podía explicar el aparente crecimiento exponencial en la producción de anticuerpos durante los primeros estadios de la respuesta inmunológica. Fue muy difícil pensar cómo era posible, de ser cierto que cada anticuerpo requería un molde, que muy rápidamente los anticuerpos superaran en número a sus moldes. Otro problema para la teoría de Pauling, y en general para toda teoría instruccionista, era que no permitía explicar por qué la producción de anticuerpos continuaba mucho después de que los antígenos ya habían sido eliminados de la sangre.

Es importante entender el contexto en el que estas teorías se estaban proponiendo. Toda teoría de anticuerpos tenía que explicar una serie de resultados experimentales, en particular los conocidos como los experimentos de Landsteiner (quien fue el primero en establecerlos) que mostraban, entre otras cosas, que un animal muy difícilmente podía poseer en su interior la información requerida para responder a la increíble variedad de anticuerpos a los que de hecho respondía. Estos experimentos no sólo mostraban que un animal era capaz de producir anticuerpos contra bacterias que no eran parásitos naturales de la especie, sino contra compuestos químicos sintetizados en los laboratorios, con los que la especie - en toda su historia - no habría podido tener contacto.

La formulación de una teoría seleccionista, por parte de Kaj Jerne en 1955, sentó las bases para la solución de estos problemas. El núcleo de la teoría de Jerne, en sus propias palabras, es el siguiente:

El antígeno es sólo un portador selectivo de un anticuerpo que circula espontáneamente con respecto a un sistema de células que pueden reproducir ese anticuerpo. Las moléculas de globulina son sintetizadas en una gran variedad de configuraciones diferentes. Entre las poblaciones de globulinas en circulación habrá algunas que espontáneamente posean la afinidad hacia algún anticuerpo al que el animal es capaz de responder (Jerne 1955, p. 849).

Así, la idea central es que la función del antígeno es la *selección* de aquellas fracciones que responden a él. En 1955, Jerne no pudo explicar los mecanismos de producción de variaciones de estas fracciones, de manera similar a como, en el siglo XIX, Darwin no había podido explicar los mecanismos responsables de la producción de variaciones. Apenas recientemente se han elucidado los mecanismos que producen la diversidad de los anticuerpos, gracias al desarrollo de la biología molecular.

La idea de Jerne es simple, y el éxito de su teoría es arrollador. Lo importante para nosotros es que este tipo de teorías, como muchas otras que han sido desarrolladas recientemente para explicar la memoria, el funcionamiento neuronal, el funcionamiento de economías de gran escala, y otros distintos procesos, parten del supuesto de que *en un nivel fundamental, la teoría describe la selección de variantes generadas al azar*. La producción azarosa de variantes se convierte, de diferentes maneras, dependiendo de la teoría de que se trate, en un recurso explicativo capaz de reemplazar la hipótesis de una finalidad no natural, o alternativamente, la hipótesis de que un sistema tiene una capacidad poco creíble para guardar la cantidad de información que se requeriría para dirigir el proceso en cuestión "desde dentro". Así, la producción azarosa de variantes permite explicar un proceso como causal de manera análoga a como la teoría de Darwin permite explicar el proceso de la transmutación de las especies, pero la explicación no es una mera explicación analógica: es un tipo de inferencia de efectos a causas cuya corrección no depende de que la teoría de Darwin sea correcta. En el caso de la evolución orgánica, Lamarck pudo haber tenido razón y aun así la explicación que ofrece la teoría seleccionista seguiría en pie.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Las críticas de sus contemporáneos a Darwin, y en particular la que le hizo Jenkin, pueden encontrarse en el libro de David Hull, *Darwin and His Critics*,

Cambridge Harvard University Press, 1973. Varios trabajos importantes sobre el papel del azar y de los métodos estadísticos en la teoría de la evolución aparecen en el volumen 2 del libro *The Probabilistic Revolution*, compilado por Lorenz Krüger, Gerd Gigerenzer y Mary S. Morgan, Cambridge, The MIT Press, 1987. Un aspecto muy importante del problema que trato en este capítulo, y que tuve que dejar totalmente de lado en este libro, es la historia de cómo se va consolidando la teoría de las causas verdaderas a través del desarrollo de la teoría clásica de la probabilidad. Esta historia es el tema del libro de Daston que ya se mencionó en la bibliografía del capítulo 4. Sobre explicaciones seleccionistas hay varios libros recientes. El trabajo clásico es el de D. Campbell "Epistemología evolucionista", en Martínez y Olivé (1997). Un libro reciente sobre el tema de las explicaciones seleccionistas es el de Gary Cziko, *Without Miracles, Universal Selection Theory and the Second Darwinian Revolution*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1995. Hay también enfoques interesantes en libros recientes sobre el concepto de complejidad, por ejemplo, en *Thinking in Complexity*, de Klaus Mainzer (véase la bibliografía al final del libro). Ésta es también una buena fuente sobre el tipo de síntesis entre explicaciones seleccionistas y estadísticas que está teniendo lugar en el contexto de teorías de sistemas complejos. Acerca de la historia de la incorporación de métodos estadísticos en la biología evolucionista hay varias obras importantes. El libro de William Provine, *The Origins of Theoretical Population Biology*, Chicago, The University of Chicago Press, 1971, narra la historia de la introducción de los métodos estadísticos por parte de Galton y su escuela, y la sigue hasta los trabajos clásicos de Fisher, Wright y Haldane que culminan en la teoría de la genética de poblaciones en la primera mitad de este siglo. Respecto a la teoría neutral de la evolución molecular, véase el libro de M. Kimura, *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge, Mass., Cambridge University Press, 1983. El libro de donde provienen las citas de Lewontin es *Biology as Ideology*, Nueva York, Harper, 1992 (originalmente publicado en 1991). Dos artículos de Lewontin relacionados con el tema de este capítulo aparecen en castellano en la antología compilada por S. Martínez y A. Barahona, *Historia y explicación en biología*, México, Fondo de Cultura Económica (en prensa). Una reconstrucción histórica de la teoría seleccionista del sistema inmune se encuentra en Soderqvist Thomas, "Darwinian Overtones: Niels K. Jeme and the Origin of the Selection Theory of Antibody Formation", *Journal of the History of Biology* 27 (3), pp. 481–529, 1994. *The Immune Self, Theory or Metaphor*, de Alfred Tauber (Cambridge University Press, 1994) relaciona los desarrollos de la inmunología con cuestiones filosóficas.

CONCLUSIÓN: EL LENTO PROCESO DE LA DOMESTICACIÓN DEL AZAR

Hemos esbozado a lo largo del libro la estructura conceptual de varios patrones de explicación causal en la ciencia. En la concepción griega de la ciencia, las explicaciones causales estaban profundamente ligadas a la idea de que el universo era esencialmente ordenado, y de que la ciencia consistía en hacer explícito ese orden. En el patrón de explicación por leyes, que se desarrolla a partir del siglo XVII con influencia neoplatónica (y semítico-cristiana), el orden del universo que nuestras explicaciones científicas aspiran a elucidar consiste en una jerarquía de leyes deterministas y mecanicistas que expresan ese orden "externo" de las cosas. A partir del siglo XIX, en la teoría de la evolución por selección natural de Darwin, y en otras teorías que apenas heinos mencionado en este libro, el orden que nuestras explicaciones aspiran a elucidar incluye la manera en que ciertos sucesos ocupan un lugar en un proceso histórico que, a su vez, contribuye a la identificación e individualización de los mismos. A estos sucesos, que describen aspectos particulares del inundo, pero que a su vez tienen cierto grado de generalidad, precisamente por su inserción en nuestras explicaciones, es a los que me refiero como aspectos contingentes o azarosos del inundo con capacidad explicativa. Esta aparente circularidad no es viciosa; reconocer su virtud implica reconocer que el origen de la generalidad de nuestros conceptos científicos y, por lo tanto, de nuestras explicaciones, es nuestra experiencia del inundo, que incluye todo aquello que llamamos cultura y todo aquello que heinos "aprendido" a lo largo de millones de años de evolución cognitiva de nuestro linaje.

En la teoría de la evolución, los aspectos contingentes se manifiestan en el carácter histórico de las explicaciones que nos permite articular. El sentido en el que la evolución orgánica es un proceso histórico no es algo fácil de formular rigurosamente, y tratar de dar una formulación definitiva nos llevaría a temas que son el objeto de apasionadas discusiones. Stephen Jay Gould, por ejemplo, sugiere que las cadenas causales de sucesos que describe la teoría de la evolución no se necesitan (como lo serían si fueran el resultado de procesos sujetos a

leyes inmanentes), ni son reversibles, como para pretender que las explicaciones que **ofrece** son algo más que reconstrucciones narrativas sin ninguna capacidad explicativa real, una posición que podemos llamar "**descriptivista**".¹

No es fácil dar una respuesta al descriptivismo que Gould en ocasiones parece defender. Ha habido, desde el siglo XVII, demasiadas respuestas contundentes que han terminado en el cementerio de las grandes ideas inútiles. Recientemente hay una manera en la se ha intentado dar respuesta a este tipo de desafío de manera contundente y definitiva. El desarrollo de las llamadas "ciencias de la complejidad" ha llevado a la formulación de respuestas como la que da Klaus Mainzer en su libro *Thinking about Complexity*: "En el marco de [una teoría de] sistemas complejos, la emergencia de la vida [y la evolución orgánica como un todo] no es contingente, sino necesaria y está regida por leyes en el sentido de autoorganización" (p. 73). El concepto de sistema complejo es indudablemente una de las grandes invenciones del siglo XX, que ciertamente ha permitido un **replanteamiento** de muchos problemas. No cabe duda que sus aportaciones a nuestra comprensión de la teoría de la evolución están sólo empezando a dar frutos. Sin embargo, en mi opinión, la aserción de Mainzer, típica de muchos promotores de la visión del mundo como un sistema complejo, peca de un optimismo extremo. No puedo detenerme aquí a examinar los conceptos involucrados con el detenimiento requerido, pero sólo para despertar la curiosidad del lector sugiero que, en el contexto de la historia reseñada en este libro, se piense en la tensión conceptual que genera la pretensión de explicar un proceso histórico como el resultado **necesario** de un proceso regido por leyes. Recordemos que la dificultad de fondo de este tipo de proyecto no radica simplemente en el concepto de ley, sino en la tesis de que el resultado es necesario (*i.e.*, que puede ser demostrado en el sentido estricto, matemático de demostración).

La estrategia, con todo el debido respeto, y con la convicción de que hay progreso en la ciencia, es reminiscente de la de Lyell, quien trató de reconciliar el descubrimiento de la "dimensión profunda del tiempo" con un tipo de explicaciones que no tenían cabida para tal tipo de conceptos. Es indudable que las teorías de sistemas complejos van a lograr explicar muchas cosas, pero pensar que van a explicar la historia reduciéndola a la emergencia necesaria de ciertas **estructuras**, dadas ciertas condiciones y sistemas con capacidad de **autoorganización**, es una posición extrema que, como la otra posición extrema que **ejemplifica** Gould, sólo podemos ver con un optimismo escéptico: el producto de la convicción de que la historia de la ciencia y la filosofía se encaminan hacia algo diferente de esos extremos.

¹Véase, por ejemplo, "Los signos insensatos de la historia", en Stephen Jay Gould (comp.), *El pulgar del panda*, Barcelona, Orbis, 1985.

Me parece que las ideas de Richard C. Lewontin apuntan hacia esa zona intermedia de posiciones que vale la pena explorar más a fondo. Lewontin reconoce la importancia de la naturaleza como irreduciblemente compleja, esto es, reconoce la complejidad de los sistemas orgánicos como un aspecto central de la ontología del mundo, pero no acepta que esta complejidad tenga el tipo de autonomía ontológica que tienen las leyes de la física clásica. Los seres humanos debemos adoptar la perspectiva de un organismo más entre otros, que activamente interpreta la complejidad del mundo desde una perspectiva racional. Desde esta perspectiva es posible reconocer la primacía de los agentes como causas de las modificaciones del medio ambiente, sin caer en la reificación de esas causas como **estructuras** internas a los agentes. No hay que olvidar, nos dice Lewontin, que a diferencia de la idea de Lamarck, según la cual los cambios en el mundo externo causaban cambios en la estructura interna, la biología contemporánea afirma que un **cambio** evolutivo de los **genes** hace que el medio ambiente también cambie. La causalidad no tiene por qué verse como un factor explicativo puramente **interno** o puramente externo, y por lo tanto, las explicaciones científicas, por lo menos las explicaciones **causales**, no tienen por qué ser, ni siquiera en un sentido ideal, inmunes a la perspectiva epistémica a partir de la cual se formulan las explicaciones. Pretender que esto nos condena al relativismo **epistémico** es un resabio de la aceptación de una dicotomía entre lo subjetivo y lo objetivo que proviene de esa **visión** cartesiana del mundo que la ciencia y la filosofía contemporáneas están tratando de superar.

Tanto en la mecánica cuántica, como en la teoría de la evolución, la incorporación de aspectos contingentes del mundo en las explicaciones da como resultado la negación de uno de los principios **epistemológicos fundamentales** de la ciencia y la filosofía clásicas: la identificación de la objetividad con el "espacio de las leyes". La historicidad de los procesos evolutivos, así como la **contextualización** de las propiedades en los procesos cuánticos, contradice este principio de la ciencia clásica. La validez universal de las leyes está íntimamente ligada a la tesis **determinista**. Una vez que aceptamos que la tesis determinista es una tesis **metafísica**, que no está de acuerdo con nuestras mejores teorías, no podemos hacer otra cosa que abandonarla; hacerlo, sin embargo, no es tan fácil como parece. Así como la creencia en Dios implica y está asociada con toda una concepción del mundo y de la ciencia, así, la tesis determinista está profundamente **enraizada** en nuestra manera de pensar y en los métodos de la ciencia que se consideran apropiados. La búsqueda de esas implicaciones y el lento proceso de la erradicación de tales supuestos constituyen un camino largo que se empezó a recorrer a mediados del siglo XIX y en el cual seguimos inmersos.

El reconocimiento de las implicaciones de la tesis determinista no es algo que pueda hacerse en abstracto; es sólo con el desarrollo de la ciencia, con la aceptación de teorías (y sus consecuencias) que implícitamente cuestionan la tesis determinista, como podemos elucidar esas implicaciones.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALEXANDER, H.G. (comp.) (1956), *The Leibniz-Clarke Correspondence*, Nueva York, Manchester University Press.
- ARISTÓTELES (1992), *Investigación sobre los animales*, introd. Carlos García Gual, trad. y notas de Julio Pallí Bonet, Madrid, Gredos.
- (1988), “Analíticos segundos”, *Tratados de lógica (Organon)*, vol. II, trad. de M.C. San Martín, Madrid, Gredos.
- BARNES, JONATHAN (1969), “Aristotle’s Theory of Demonstration”, *Phronesis*, 14.
- CARTWRIGHT, NANCY (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Oxford, Clarendon Press.
- DARWIN, CHARLES, *Autobiografía y cartas escogidas*, selección de Francis Darwin (2 tomos), Madrid, Alianza Editorial, 1977 (1984).
- (1964), *On the Origin of Species*, versión facsímil de la primera edición (1859), introd. de Ernst Mayr, Harvard University Press.
- (1985), *El origen de las especies*, México, Porrúa.
- (1987), *Notebooks 1836–1844*, comp. por P. Barret *et al.*, Ithaca, Cornell University Press.
- DEAR, PETER (1996), *Discipline and Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution*, Chicago, The University of Chicago Press.
- DESCARTES, RENÉ (1986), *El mundo o tratado de la luz*, trad. Laura Benítez, México, UNAM.
- (1985), “Treatise on Man”, *The Philosophical Writings of Descartes*, trad. J. Cottingham, K. Stoothott y D. Murdoch, Cambridge, Cambridge University Press.

- (1985), "Discourse on the Method", *The Philosophical Writings of Descartes*, trad. J. Cottingham, K. Stoothott y D. Murdoch, Cambridge, Cambridge University Press.
- GALILEI, GALILEO (1969), *Opere*, editado por Arrigo Pacchi, Nápoles, Casa Fulvio Rossi.
- (1967), *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, trad. Stillman Drake, Berkeley, University of California Press.
- HACKING, IAN (1991), *La domesticación del azar*, trad. A.L. Bixio, Barcelona, Gedisa.
- (1975), *The Emergence of Probability*, Cambridge University Press [hay traducción al castellano de Alianza Editorial, Madrid].
- HERSCHEL, JOHN (1987), *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*, publicado como el tomo 1 de la Enciclopedia Lardner (1832). Reimpresión con introducción de A. Fine, Chicago, The University of Chicago Press.
- HIPÓCRATES (1990), *Tratados hipocráticos*, Madrid, Biblioteca Clásica Gredos (en 6 tomos).
- HODGE JONATHAN (1987), "Natural Selection as a Causal, Empirical, and Probabilistic Theory", en la colección compilada por L. Kruger, G. Gigerenzer y M. Morgan, *The Probabilistic Revolution*, vol. 2, Cambridge, Mass., The MIT Press.
- HULL, DAVID L., "Charles Darwin and Nineteenth Century Philosophy of Science", en Hull (1989).
- (1983), *Darwin and his Critics*, Chicago, Ill., The University of Chicago Press, 1973.
- (1989), *The Metaphysics of Evolution*, Nueva York, State University of New York Press.
- LAMARCK, J.B. (1992), *Filosofía zoológica*, México, Facultad de Ciencias, UNAM.
- LAPLACE, PIERRE-SIMON (1985 [1814]), *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, Madrid, Alianza Editorial.
- LEIBNIZ, GOTTFRIED W. (1965), *Philosophical Papers and Letters*, Leroy Loemker (comp.), Dordrecht-Boston, Synthese Historical Library.
- (1982), *Teodicea*, trad. castellana del resumen en Gottfried W. Leibniz, *Escritos filosóficos*, E. Olaso (comp.), Buenos Aires, Charcas.

- (1989), *Philosophical Essays*, comp. y trad. de R. Ariew y D. Garber, Indianápolis-Cambridge, Hackett.
- LEWONTIN, RICHARD (1985), "Population Genetics", en P. Greenwood *et al.* (comps.), *Essays in Honour of John Maynard Smith*, Cambridge University Press.
- (1992), *Biology as Ideology, the Doctrine of DNA*, Harper Perennial (reimpreso en 1992), originalmente publicado en 1991.
- , "Hechos y ficciones en las ciencias naturales", en S. Martínez y A. Barahona (comps.), *Historia y explicación en biología*, México, Fondo de Cultura Económica (en prensa).
- LYELL CHARLES (1970), *Principles of Geology, 1830-1833*, 3 tomos, Londres; reimpresión con una introducción de M.J.S. Rudwick, Nueva York, Wheldon y Wesley.
- MAINZER, KLAUS (1994), *Thinking about Complexity*, Berlín, Nueva York, Springer Verlag.
- MARTÍNEZ, S.F. y A. BARAHONA (comps.) (en prensa), *Historia y explicación en biología*, México, Fondo de Cultura Económica.
- y L. OLIVÉ (comps.) (1997), *Epistemología evolucionista*, México, Paidós-UNAM.
- MAYR, ERNST y WILLIAM B. PROVINE (comps.) (1980), *The Evolutionary Synthesis or the Unification of Biology*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- (1991), *One Long Argument, Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- MONTAIGNE, MICHEL (1922), "Apologie de Raimond Sebond" (primera edición 1580), *Les essais de Michel de Montaigne*, P. Villey (comp.), Paris.
- NEWTON, ISAAC (1952), *Optiks or a Treatise on the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, Nueva York, Dover Publishers.
- (1972), *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 3a. ed., A. Koyré, I. Bernard Cohen y A. Whitman (comps.), 2 tomos, Cambridge, Mass., Cambridge University Press.
- PLATÓN (1991), *Diálogos*, México, Porrúa.

- RICHARDS, ROBERT (en prensa), “La estructura de la explicación narrativa en historia y biología”, en S.F. Martínez y A. Barahona (comps.), *Historia y explicación en biología*, México, Fondo de Cultura Económica.
- SCHWEBER, S. (1982), “Demons, Angels and Probability: Some Aspects of British Science in the Nineteenth Century”, en A. Shimony y H. Feshback (comps.), *Physics as Natural Philosophy*, Cambridge, Mass., The MIT Press, pp. 319–363.
- WIMSATT, WILLIAM (1981), “Robustness, Reliability, and Overdetermination”, en M. Brewer y B. Collins (comps.), *Scientific Inquiry and the Social Sciences*, San Francisco, Jossey-Bass.
- (1986), “Forms of Aggregativity”, en A. Donagan, A.N. Perovich, Jr., y M.V. Wedin (comps.), *Human Nature and Natural Knowledge*.

ÍNDICE ANALÍTICO

- agregatividad, 38–40, 89, 136, 139
 de las propiedades, 38, 90
 de las partes, 39
 de los efectos, 155
- Anaxágoras, 30–34, 38
 primer método de, 31–32
- Aristóteles, 20–22, 33, 36–42, 54, 56–58, 63, 65, 66, 80, 81, 86–88, 100, 113, 118, 143, 166
 explicación en, 20–21, 36–43
- Arquímedes, 67, 68, 168
 principio de, 68
- azar, 19, 24, 25, 106, 108, 134, 139, 142, 145, 159–176
 como recurso explicativo, 25, 137, 141, 160
 como ignorancia de información, 138
 objetivización del, 108–109, 138, 153
 y explicaciones estadísticas, 160–164
- Bacon, Francis, 51, 139
- Boltzmann, Ludwig, 160
- Boyle, 38
- Carnap, Rudolf, 118n
- Cartwright, Nancy, 155n
- causa(s)
 adecuación de la, 120, 123, 130, 131
 agentes, 22
 común, 123, 124
 eficientes, 22, 36, 42
 existencia de la, 130
 externa, 165
 finales, 21, 23, 24, 36, 39, 40, 42, 89, 90, 129, 141, 152, 158
 formales, 36, 40, 42
 hipotéticas, 120
 interna, 165
 materiales, 36, 37, 40n, 42
 ocultas, 92
 primaria, 152
 primera, 72
 principal, 165
 próxima, 42–43, 66, 69
 responsabilidad de la, 130, 131, 132
 últimas, 32, 92, 97, 98
 verdadera, 19, 66, 67, 69, 71, 72, 76, 114, 115–125, 129–135, 140, 146n, 147, 150, 152, 168, 170; *véase también vera causa*
 y efecto (similitud), 64–65
- causalidad, 19, 20, 22, 25, 104, 114, 171, 173, 179

- análisis huiiieano de la, 104, 106–109
 eficiente, 22
 final, 22, 39, 40
 formal, 39
 material, 39
 ciencia, 94
 en la Grecia antigua, 19
 Clarke, Samuel, 92–95
 Clavius, Christoplier, 58–59
 complejidad (sistemas complejos), 178
 concepción laplaciana del mundo, 135, 160, 164–166
 conocimiento de las causas apartir de los efectos, 68
 contingencia, 133, 137
 e historia, 145–147
 en las explicaciones biológicas, 133, 135
 "conversión" (o converlibilidad) de los efectos en causas, 43, 45, 46, 68, 69, 169, 170
 Cotes, Roger, 22
 Darwin, Charles, 20, 24, 25, 114–118, 123, 125, 127, 129–132, 133–144, 145–153, 157–158, 160–162, 165, 166, 169, 170, 175, 176
 deducción, 32
 a partir de experimentos, 76
 a partir de la experiencia, 80
 a parlrir de leyes, 87
 a partir de los fenómenos, 52, 69, 74, 77, 79, 81, 86, 95, 97, 113, 117, 119, 120, 146n
 a partir de primeros principios, 80
 de efectos a causas, 65, 66, 67, 68, 70, 72; véase explicación por conversión del efecto
 Demócrito, 30, 33, 35, 36, 38
 método físico de, 37
 demostración, 58, 63, 67, 81, 167, 180
 a partir de los efectos, 80
 eii el sentido estricto, 66, 70, 71
 de los efectos a las causas, 43, 67, 70, 72, 76
 geométrica, 67, 167
 deriva génica, 163
 Descartes, René, 21–24, 26, 43, 51–53, 56, 57, 58n, 60, 63–81, 83–88, 90, 97, 98, 100, 105, 113, 120, 151, 167, 168
episteme, 63, 66
 experiencia, 19, 21, 30, 32, 34, 46, 60, 65, 70, 80, 81, 88, 90, 99, 100–103, 106–108
 deducción a partir de la, 80
 humeana, 107
 inferencia a partir de la, 19
 probar a partir de la, 33
 sensible, 33
 sensorial, 61, 81, 84, 105
 explicación (deiiiiostración), 20, 21, 25, 31–33, 36, 37, 40, 41, 52, 65, 66, 80, 82, 84, 89, 90, 96, 114, 120, 121, 129, 132, 140, 145–158, 169
 a partir de leyes, 19, 24, 25, 65
 a partir de los efectos, 80
 aristotélica, 36–40
 atoinista, 35
 causal, 23, 40, 43, 155, 169, 181
 científica, 80, 87, 97–109, 129, 143
 completable intrinsecameiite, 157
 completable extrínsecamente, 157; véase triangulación jerárquica
 de los efectos a las causas, 66, 67
 del origen de las especies, 123, 124, 127–135

- en biología, 37, 40, 145–158
 estadística, 159–176
 evolucionista, 156, 172
 filosófica, 170
 histórica, 24, 127, 145
 inmanentisia, 133
 mecanicista (por causas materia-les), 40, 41, 42
 narrativa, 149, 152–158, 159, 169
 naturalista, 129, 133, 173
 por causa próxima, 43, 66
 por causas ocultas, 92
 por causas verdaderas, 121
 por conversióndeefecto, 43, 53, 66
 por selección natural, 138, 143
 por subsunción bajo leyes, 152–154, 156, 157, 160, 167
 seleccionista, 159–176
 teleológica (por causas finales), 23, 40, 41
 tipo *regressus*, 66, 68
 fenómeno(s), 26, 32, 34, 52, 60, 64, 67, 76, 78–81, 83, 84, 87–91, 96–102, 105, 117, 119–122, 124, 125, 127, 130–132, 146, 168
 propiedades derivables de los, 76, 91
 residuales, 139
 Fisher, Roiiald, 163
 fisicalismo, 99
 frecuencias génicas, 39n
 función
 diferencia entre, y coiisecuencia, 172
 Galeno, 60
 Galileo, 38, 43, 51–58, 60–63, 69, 71–74, 78, 81–82, 84–85, 96, 97, 117, 121, 155
 Galton, Fraicis, 162, 176
 genética de poblaciones, 163
 Gould, Stephen Jay, 177–178
 grado de completitud (de una expli-cacióii), 157
 Hackiiig, Ian, 24
 Haldane, John, 163
 Harvey, William, 61, 62
 Hempel, Carl G., 25, 26
 Herschel, John, 24, 114–117, 120–125, 127, 128, 130–132, 136, 138, 144
 Herschel, William, 115, 127
 Hipócrates, 44
 hipótesis, 117
 historia, 138, 152, 180
 de la ciencia, 19, 77, 166, 178
 de la filosofía, 21, 35
 de la vida, 137, 147, 149
 natural, 102
 y contingencia, 145–147
 y narrativa, 145–158
 Hodge, Jonatlian, 130, 144
 Hull, David, 118, 139, 144, 154, 155, 158, 175
 Hume, David, 22, 52, 63, 100, 101, 103–109, 119, 120, 145–146, 150, 151
 Huygens, Christiaan, 79
 ideal de demostración esiricto, 67
 índice de realidad (de una explicación narrativa), 152, 153, 157, 158
 inducción, 79, 117, 141
 a partir de los fenómenos, 90
 el problema de la, 115–1 25
 enumerativa, 118
 inferencia
 de efectos a causas, 64, 68, 74, 86, 88, 113, 118, 159, 164–173, 175

- de los fenómenos a las leyes, 81
- Jenkin, Fleeming, 161–162
- Jeme, K., 175
- Jukes, Thomas H., 163n
- Kant, Immanuel, 87
- Kepler, Johannes, 60, 77, 84–86, 96, 121
- Kimura, Motoo, 163
- King, Jack L., 163
- Lamarck, J.B., 127, 129, 130, 133, 151, 165, 170, 175, 179
- Landsteiner, Karl, 174
- Laplace, Pierre-Simon, 19, 109n, 115, 135–139
- Leibniz, Gottfried W., 52, 79, 86–90, 92–96, 99, 100, 103–105, 128, 129, 167
- correspondencia entre, y Clarke, 92, 94–95
- Lewonlin, Richard C., 164–167, 170, 171, 176, 179
- ley(es), 21, 25, 83, 85–86, 97–109, 114
- científica, 87
- conceptos de, 23.86. 88
- de aplicación universal o universales, 40, 79, 84, 86, 103, 113, 121, 155, 171, 177
- de la gravedad, 77, 98, 99, 116, 119, 128, 131, 146, 155
- de la mecánica, 90, 115, 121
- de lanaturaleza, 19, 22, 23, 24, 53, 83, 86–89, 96, 98, 99, 100, 103, 105, 109, 116, 128, 129, 130, 131, 136, 142, 143
- de la refracción, 73
- del error, 161
- de "orden general", 87–89
- en la biología, 152
- experimental, 76
- exlemalislá, 84
- físicas, 96, 146
- inmanentista o inmanente, 21, 22, 23, 88, 113, 180
- matemáticas, 76, 93
- mecanicista, 22, 24, 124, 167
- no inmanente de la naturaleza, 22
- probabilistas, 153
- teleológica, 23, 24
- Locke, Jolin, 22, 38, 52, 63, 65, 93, 100, 103–108, 151
- Lyell, Charles, 114, 116, 117, 122–125, 127, 128, 130, 132, 133–135, 150, 152, 170, 178
- Malthus, Thomas Robert, 147, 150, 161
- Mayr, Emst, 132, 144, 155, 156
- mecanismo de la selección natural, 127, 131, 147, 158, 163
- Mendel, Gregon, 163
- Mersenne, 58n, 67–68, 167
- Merz, Theodore, 160
- método, 23, 31, 80, 81, 113
- analógico, 119
- científico, 30, 74, 90–94, 109n, 115–117, 119, 139, 147, 179
- cuantitativos, 163
- de inferencia, 20, 118
- de la exclusión de hipótesis, 117, 118
- de las causas verdaderas, 119
- de las hipótesis, 45, 77, 118
- deductivo, 31
- estadístico, 108, 115, 118, 159, 160, 162, 163, 166, 176
- hipotético-deductivo, 32, 76

- inductivo, 117–119
- matemático, 99
- primer, 31
- probabilista, 109n
- metodología
- de causas verdaderas, 132, 140, 168
- newtoniana, 132
- Mill, John Stuart, 139, 140, 141
- Montaigne, Michael de, 60
- Morin, Arliur, 70, 167
- narrativa, 145–158, 173
- e historia, 145–158
- Newton, Isaac, 22, 38, 43, 51–53, 57, 63, 69, 72–82, 84, 86, 90–100, 105, 107, 108, 117–121, 125, 127–132, 136, 137, 139, 141, 142, 146, 150, 167–171
- experimento del prisma de, 72–77
- origen de las especies, El*, 130, 137, 138, 140, 142–144, 147, 150, 160, 161, 169, 170
- Paley, William, 146–147
- Paracelso, 60
- paso de los efectos a las causas, 65, 66, 67, 172, 173; véanse "conversión" de los efectos en causas; deducción de efectos a causas; demostración de los efectos a las causas; explicación de los efectos a las causas; inferencia de efectos a causas; problema de inferir de efectos a causas
- Pauling, Linus, 174
- patrón de explicación, 19, 20, 25, 36, 43, 45, 51, 64, 66, 69, 108, 109, 120, 132, 159, 166, 167, 169–171
- causal, 177
- mecanicista, 42
- narrativo, 20, 25
- newtoniano, 115, 116, 132n
- por inferencia tipo *regressus*, 68, 69, 74
- por leyes, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 53, 109, 115, 116, 121–125, 152–158, 164, 177
- seleccionista, 20, 25, 114, 171
- plasticidad ontológica de la teoría de la evolución, 172, 173
- Platón, 31, 32, 33, 36, 37, 46, 80
- principios explicativos, 20, 21, 22, 30, 36, 37, 98, 99, 125, 142, 166
- probabilidad, 24, 63, 100, 102, 103–109, 118, 160, 163, 171
- clásica, 19, 108, 176
- de causa, 106
- de lo azaroso, 106
- filosófica, 108
- interpretación frecuentista de la, 108
- problema de inferir de efectos a causas
- en biología, 164–171
- en Darwin, 129–144
- en Descartes, 64–71
- en Galileo, 71–72, 81
- en Newton, 72–81, 90–94
- proceso(s)
- azarosos, 163
- histórico, 178
- regido por leyes, 178
- prueba (probar),
- a partir de los efectos, 67, 70, 71
- Ptolomeo, 56, 60
- Quetelet, Adolphe, 161
- reducción, 38–42, 107, 124, 153

- reducibilidad, 38
 material, 39
Reid, Thomas, 119, 120
Richards, Robert, 149, 158
- Sexto Empirico, 59
Smith, Adam, 148, 150–151
Sócrates, 31, 80
Swift, Jonathan, 140n
- Tales de Mileto, 30
 teología natural, 128, 129, 146
 teoría
 de la evolución (darwiniana), 20, 24, 25, 42, 109, 115, 117, 128, 137, 143, 148, 153, 154, 155–157, 159–165, 169, 171, 172, 173, 175, 177, 178, 179
 estadística, 161
 seleccionista de anticuerpos, 173, 176
 tipo regressus, 67
triangulación jerárquica, 157; véase explicación completable extrínsecamente
- van Fraassen, Bas C., 26
 variación
 ciega, 134
 no dirigida (azarosa), 138, 150
 única. 162
 variantes generadas al azar, 135, 175, 176
 vera causa, 114, 115–125, 132–135, 139, 140, 146n, 147, 162, 168; véase también causa verdadera
Vinci, Leonardo da, 54
- Whewell, William, 24, 136, 138–143, 146–147, 161
Wimsatt, William, 39, 154
Wright, Sewall. 163