

algunos esquemas de determinación en el caótico fluir de las apariencias sugiere y conforma el determinismo ontológico. Las dos ramas de un determinismo laxo —el neo-determinismo ontológico y epistemológico— se sostienen la una a la otra.

5. *Formalismo: la autonomía de la Lógica y la Matemática.* Un buen instrumento no debería alterarse con el uso: de otro modo no habría manera de terminar tarea alguna con su ayuda. La lógica es un tal instrumento de la ciencia: por mucho que cambie la ciencia de la lógica, lo hace siempre internamente o en respuesta a problemas puramente racionales, no en un esfuerzo de adaptarse a la realidad. La lógica es autosuficiente desde los puntos de vista de su objeto y de su método: no tiene más objeto que sus propios conceptos, y sus demostraciones no deben nada a las peculiaridades del mundo. No quiere eso decir que la lógica pertenezca a otro mundo, o sea, que las fórmulas lógicas se encuentren en un reino de ideas platónicas: la lógica es un producto de seres racionales, y desaparecerá con el último lógico (lo cual ha ocurrido ya antes de ahora); pero no se refiere a la realidad. Cualquiera que sea el aspecto del mundo para las sucesivas generaciones de científicos, las verdades lógicas, como " $p \rightarrow (q \rightarrow p)$ " y las argumentaciones lógicas, como " $\{p \vee q, -q\} \vdash p$ ", siguen inmutables porque no tienen contenido factual. Otro asunto es el hecho de que no siempre se les haya reconocido su autosuficiencia, cosa de interés para el psicólogo y para el historiador de la ciencia: lo que aquí se afirma es que las fórmulas lógicas y las argumentaciones lógicas no tienen mas criterio que ellas mismas. Lo mismo puede decirse de la matemática. En resolución: la validez de una ciencia formal es independiente del mundo porque no se ocupa de él. La ciencia factual, cuando utiliza la matemática, plantea *problemas* matemáticos; y la investigación matemática plantea a su vez *problemas* lógicos: pero también este asunto es para el psicólogo y el historiador de la ciencia, además de interesar al metodólogo: el hecho no prueba que la ciencia formal se ocupe del mundo externo, ni que sea lógicamente dependiente de él, sino sólo que la ciencia formal no vive en un mundo aparte, sino que a menudo ocupa el pensamiento de personas interesadas por las ideas y por el mundo. La cosa sería muy distinta si el mundo tuviera propiedades formales; pero sólo pueden tenerlas las ideas, ya sea ideas puras, ya ideas sobre el mundo.

Todas las teorías lógicas contienen —y todas las teorías matemáticas y factuales presuponen de un modo u otro— las leyes de identidad y no-contradicción, así como la regla de separación, o *modus ponendo ponens*. (La ley o principio del tercio excluso no se presenta en la lógica intuicionista, que, en parte por esta razón, no se utiliza en la ciencia. En la lógica ordinaria, esta ley " $p \vee -p$ " es equivalente al principio de no-contradicción, de modo que no hay necesidad de mencionarla por sí misma en nuestra discusión.) Supongamos, por arrancar nuestra argumentación, que la ciencia factual no presupusiera esos principios lógicos. Entonces presupondría otros principios lógicos, o no presupondría ninguno. En el primer caso, esos principios serían descubribles mediante el análisis, igual que el análisis del discurso ordinario llevó a la lógica clásica y el del discurso matemático a la lógica simbólica. Y si la ciencia factual no presupusiera ningún principio lógico, podría quedarse tal cual o entablar una investigación empírica en busca de principios propios. En el primer caso, no habría limitación alguna de las formas lógicas ni de las inferencias: todo podría afirmarse (toda serie posible de símbolos podría tomarse como representante de una fórmula bien formada) y todo podría inferirse (cualquier secuencia

de enunciados, aunque fueran lógicamente incoherentes, sería aceptable como argumentación válida). Como éste no es el caso, tomemos la otra posibilidad, a saber, que la ciencia factual emprendiera una investigación propia de la lógica y buscara sus propios principios de razonamiento. ¿Cómo podría conseguirlo? Los conceptos, las funciones proposicionales, las proposiciones, etc. —o sea, los objetos lógicos— no tienen existencia material ni pueden, consiguientemente, ser objetos de experiencia: sólo sus símbolos tienen existencia material, pero son inesenciales, o sea, que pueden cambiarse por otros símbolos cualesquiera sin que cambie lo denotado. La ciencia factual tendría que volverse hacia adentro, tendría que hacer su propio análisis para descubrir los principios lógicos que estuvieran insertos en ella misma. Pero ¿con qué instrumentos procedería a ese análisis, si no es con los instrumentos lógicos que al principio se había negado a presuponer? Por tanto, la ciencia factual tiene que presuponer alguna lógica.

La lógica presupuesta por la ciencia factual no es sino una entre las innumerables teorías lógicas posibles (consistentes): es la llamada lógica *ordinaria* bivalente, o de dos valores. Las demás teorías lógicas son interesantes por sí mismas, pero no se aplican al análisis del discurso científico. No obstante, todas ellas, las teorías lógicas aplicables y no aplicables (o, si se prefiere, aplicadas y no aplicadas hasta ahora), contienen los citados principios lógicos o están construidas de tal modo que esos principios no se conculquen. Supongamos por un momento que la ciencia rechazara esos principios lógicos. Si se abandonara el principio lógico de identidad tendríamos que admitir el milagro de que un enunciado cambiara por sí mismo y fuera incapaz de representar dos veces —en una misma argumentación, por ejemplo— la misma proposición. Si se abandonara el principio de no contradicción, seríamos incapaces de hacer suposiciones determinadas pues podríamos estar afirmando al mismo tiempo sus negaciones. Además, asignaríamos el mismo valor a hipótesis y evidencias contradictorias, y, consiguientemente, el mismo concepto de contrastación perdería interés. Por último, sin la regla de separación o algún principio de inferencia más fuerte, ninguna suposición podría ser fecunda: seríamos incapaces de inferir, o, por lo menos, de convalidar nuestras conclusiones. Por tanto, la ciencia tiene que aceptar de algún modo y en algún lugar esos principios. Importa poco que se formulen como axiomas o como teoremas, o incluso como reglas; y tampoco el que se coloquen en la lógica, en la metalógica o incluso en la matemática pero hay que tenerlos si es que se quiere distinguir entre fórmulas e inferencias correctas e incorrectas. En definitiva: toda la ciencia, factual o formal, presupone un mínimo de principios lógicos, y toda la ciencia formal es lógicamente (no psicológica ni históricamente) independiente de la ciencia factual.

Hay otras hipótesis filosóficas relevantes para la ciencia factual pero no es nuestra tarea (que además sería imposible) examinarlas todas. La intención de este estudio ha consistido en mostrar que la investigación científica presupone lógicamente ciertas hipótesis filosóficas muy amplias: que la ciencia no es filosóficamente neutra, sino partidista. De eso no hay que inferir que la ciencia necesite una sólida *base* filosófica, en el sentido de que se necesite una filosofía para *convalidar* las hipótesis científicas: sería desastroso que se diera una vez más al filósofo la última palabra sobre cuestiones de hecho. No se trata de *basar* la ciencia en la filosofía, ni a la inversa, sino más bien de reconocer que la una no *existe* sin la otra, y que no parece que pueda progresar la una sin el apoyo y la crítica de la otra.

Ningún principio filosófico suministra una justificación concluyente de una hipótesis científica; una hipótesis factual es simplemente no-científica si se maneja como verdadera por razones *a priori* o como irrectificable por la nueva experiencia. En particular, es perder el tiempo el buscar los principios filosóficos que puedan convalidar inferencias científicas no-deductivas, hipótesis metafísicas como “El futuro se parece al pasado”, “La naturaleza es uniforme” o “Todo efecto tiene una causa”. No es posible convalidar argumentaciones heurísticas esencialmente inseguras, como las inductivas, ni es prudente darles rigidez; y no vale la pena intentar ninguna de las dos cosas, porque las hipótesis inductivamente halladas son superficiales, y el mejor modo de convalidarlas (aunque imperfectamente) consiste en enlazarlas con otras hipótesis. Los varios presupuestos implícitos de la investigación científica no suministran una fundamentación *última* de la ciencia, sino que necesitan ellos mismos apoyo; ¿y cómo pueden justificarse si no es por su capacidad de guiar una investigación afortunada (aunque no infalible) de la verdad?

Aunque la filosofía no puede pretender convalidar las ideas y los procedimientos científicos, puede y debe examinarlos, criticarlos, afirmarlos y proponer y especular otras alternativas posibles. Y si por un lado hace falta una mentalidad científica para darse cuenta de que la mayor parte de la filosofía se encuentra aún en un estadio pre-científico —por expresarnos blandamente— y para formular los desiderata de un filosofar científico, por otro lado hace falta una mentalidad filosófica para darse cuenta de las inevitables debilidades y algunas de las posibilidades inexploradas que presenta la ciencia en cada uno de sus estadios. No hace falta decir que una tal mentalidad filosófica no es propiedad exclusiva de los filósofos; en realidad, todo gran científico tiene una concepción filosófica, aunque sea incoherente, y ha soportado dificultades filosóficas al planear líneas de investigación y estimar sus resultados; esto no puede sorprender, porque un gran científico es una persona que se mueve entre problemas profundos, y los problemas profundos exigen hipótesis profundas, o sea, hipótesis que están de algún modo relacionadas con concepciones filosóficas del mundo y de nuestro conocimiento del mismo.

Atendamos ahora a las hipótesis que, con razón o sin ella, se supone representan esquemas generales, a saber, los enunciados de leyes, o enunciados legaliformes.

Problemas

5.9.1. La mayoría de los científicos no han tenido una educación lógica sistemática: razonan (a menudo incorrectamente) de un modo intuitivo, salvo cuando dan a sus pensamientos forma matemática, en cuyo caso la matemática se ocupa de la coherencia lógica. ¿Prueba eso que la ciencia sea independiente de la lógica? ¿Y prueba que el científico no necesite una educación lógica sistemática? *Problema en lugar de ése*: Los empiristas y los materialistas tradicionales han sostenido que la lógica, lejos de carecer de presupuestos, presupone cierto número de principios tomados de la metafísica, la ciencia, etc., como la hipótesis de la existencia independiente del mundo y la hipótesis de la legalidad de los acontecimientos. Estudiar alguna doctrina de este tipo, como, por ejemplo, el sistema de “lógica material u objetiva” propuesto por J. Venn en *The Principles of Empirical or Inductive Logic*, 2a. ed., Londres, Macmillan, 1907, cap. 1.

5.9.2. Algunos filósofos, señaladamente Hegel y sus seguidores, han rechazado las leyes lógicas de identidad y no-contradicción arguyendo que no explican ni permiten el cambio. Examinar ese argumento. Para una crítica de la creencia en que la lógica presenta compromisos ontológicos cf. E. Nagel, *Logic Without Metaphysics*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1956, cap. 1. *Problema en lugar de ése*: Discutir los principios filosóficos y heurísticos estudiados por el físico J. A. Wheeler en "A Septet of Sibyls: Aids in the Search for Truth", *American Scientist*, 44, 360, 1956.

5.9.3. ¿Está alguna de las cinco hipótesis filosóficas tratadas en el texto no sólo presupuesta, sino también corroborada por la investigación científica? *Problema en lugar de ése*: ¿Son contrastables las hipótesis filosóficas? Si lo son, ¿cómo? En particular: ¿cómo podríamos contrastar hipótesis ontológicas referentes al cambio?

5.9.4. Buscar más presupuestos filosóficos de la ciencia. *Problema en lugar de ése*: ¿Es verdad que la física moderna nos obliga a considerar 'realidad' y sus palabras emparentadas como términos vacíos?

5.9.5. T. Goudge, en *The Ascent of Life*, Toronto, University of Toronto Press, 1961, pp. 155ss., cita como metafísicas las siguientes presuposiciones de la teoría de la evolución (i) "Hay un efectivo pasado evolutivo que puede conocerse científicamente, pero nunca observarse." (ii) "Los objetos llamados fósiles son restos de la evolución" es una afirmación verdadera." (iii) "Los factores y las leyes de las que hoy sabemos que son eficaces en el dominio biológico lo fueron durante toda la historia de la vida o durante su mayor parte." ¿En qué sentido son metafísicas esas hipótesis? *Problema en lugar de ése*: Discutir la influencia de la ontología mecanicista en la biología y la psicología—en el tipo de problemas que se plantearon esas disciplinas—a partir del siglo xvii.

5.9.6. G. Schlesinger, en *Method in the Physical Sciences*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1963, p. 46, sostiene que "el principio de microrreducción ("Las propiedades de los sistemas físicos tienen que explicarse por las de sus partes, y no a la inversa") es injustificable, pues no es más que un prejuicio que supone una parcialidad en favor de un método que no es objetivamente superior a su opuesto desde ningún punto de vista". Discutir esa afirmación en relación con la física del estado sólido, la biología molecular o la biopsicología.

5.9.7. Los sostenedores más extremistas de la llamada interpretación de Copenhague (o interpretación ortodoxa) de la mecánica de los quanta sostienen que ésta establece la imposibilidad de separar claramente el objeto investigado del observador; algunos llegan hasta a afirmar que la teoría establece la primacía del espíritu sobre la materia. Si eso fuera verdad, ¿podría distinguirse la investigación física de la psicológica? Véase una muestra en E. P. Wigner, "Remarks on the Mind-Body Question", en I. J. Good (ed.), *The Scientist Speculates*, Londres, Heinemann, 1962, p. 285: "no ha sido posible formular las leyes de la mecánica de los quanta de un modo plenamente consistente sin referirse a la consciencia. Todo lo que afirma suministrar la mecánica de los quanta son conexiones de probabilidad entre impresiones sucesivas (también llamadas "apercepciones") de la consciencia, y aunque la línea divisoria entre el observador cuya consciencia queda afectada y el objeto físico observado puede desplazarse hacia una o hacia otro en medida considerable, no puede, de todos modos, eliminarse". Puede verse una crítica de estas opiniones en M. Bunge, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.

5.9.8. El mecanicismo puede ser ontológico o metodológico. El *mecanicismo ontológico* sostiene que toda la realidad es exclusivamente (o al menos básicamente) física. El *mecanicismo metodológico* (mejor llamado *fisicismo*) es la estrategia que consiste en aplicar los métodos y las teorías de la física y de la química a la biología en la medida de lo posible y sin entrar en compromisos ontológicos. ¿Cuál de las dos clases de mecanicismo—si lo es alguna—es favorecida por la biología? ¿Puede alguno de esos tipos de mecanicismo ampliarse a la psicología o la sociología? *Problema en lugar de ése*: Examinar y ejemplificar los conceptos de emergencia y de nivel de organización. Véase D. Blitz, *Emergent Evolution*, Dordrecht, Kluwer, 1992.

5.9.9. El individualismo filosófico, como el mecanicismo, puede ser ontológico o metodológico. El *individualismo ontológico*, o nominalismo, sostiene que no hay más que individuos, y no totalidades ni clases. El *individualismo metodológico* dice sólo que las totalidades pueden entenderse analizándolas en sus partes; por ejemplo, que las tendencias sociales tienen que analizarse como resultado de la acción de los grupos, y la acción de los grupos tiene que analizarse a su vez en acciones individuales. ¿Se utiliza en la ciencia el individualismo de una clase u otra? ¿Y nos obliga el individualismo metodológico a abandonar la investigación, por ejemplo, de las leyes sociales en su propio nivel? *Problema en lugar de ése*: Examinar el sistemismo como alternativa tanto al individualismo como al holismo. Cf. M. Bunge, *A World of Systems*, Dordrecht, Reidel, 1979; *Sistemas sociales y filosofía*, Buenos Aires, Sudamericana, 1995; *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998 [*Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana, 1999].

5.9.10. Uno de los supuestos filosóficos insertos en la ciencia es que los objetos materiales de escala macroscópica subsisten entre dos observaciones. La experiencia no puede suministrar prueba alguna de ese principio: sólo podrá apoyarse en evidencia indirecta, así como en la falta de fundamento de la hipótesis contraria. ¿Se sigue de ello que la hipótesis en cuestión no es más verdadera que la contraria, o sea, la que dice que los objetos materiales dejan de existir cuando no son observados, o que se transforman en objetos de clase completamente distinta a menos que tengamos la vista fija en ellos? Si esto fuera verdad, sólo podríamos mantener la hipótesis de la persistencia de los objetos estipulando que hay que elegir la hipótesis más simple, estipulación que es tan poco empírica como la hipótesis que pretende salvar. Así, por ejemplo, escribía B. Russell en *Human Knowledge: Its Scope and Limits*, Londres, George Allen and Unwin, 1948, p. 343: “Supongamos que fuéramos a formular la hipótesis de que las mesas, cuando nadie las mira, se convierten en canguros; esto complicaría mucho las leyes de la física, pero ninguna observación podría refutarlo. Las leyes de la física, en la forma en que las aceptamos, no sólo tienen que estar de acuerdo con la observación, sino que, además, por lo que hace a lo no observado, tienen que poseer ciertas características de simplicidad y continuidad que no son empíricamente demostrables”. ¿Es éste un callejón sin salida?

BIBLIOGRAFÍA

- Bernard, C., *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* [1865], París, Charles Delagrave, 1952.
- Beveridge, W.I.B., *The Art of Scientific Investigation*, Nueva York, W. W. Norton and Co., 1950, cap. iv.
- Bunge, M., *Intuición y razón*, Buenos Aires, Sudamericana, 1996.
- , *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., 1963, caps. 4-8, 9 y 10.
- , “Phenomenological theories”, en M. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, Nueva York, The Free Press, 1964.
- , *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.
- , *A World of Systems*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1979.
- Duhem, P., *La théorie physique*, parte II, cap. VII, 2a. ed., París, Rivière, 1914.
- Hanson, N. R., “The Logic of Discovery”, *Journal of Philosophy*, LV, 1073, 1958. Crítica de D. Schon, *ibid.*, LVI, 500, 1959, y réplica de Hanson, *ibid.*, LVII, 182, 1960.
- Naville, E., *La logique de l'hypothèse*, París, Alcan, 1880.

Popper, K. R., *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1962, caps. 1 y 8.

—, *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos, 1962.

Schiller, F.C.S., 'Hypothesis', en S. Singer (ed.), *Studies in the History and Method of Science*, Oxford, Clarendon Press, 1921, vol. II.

Whewel, W., *Novum Organum Renovatum*, 3a. ed., Londres, Parker, 1858.

Wilson, E.B., *An Introduction to Scientific Research*, Nueva York, McGraw-Hill, 1952, 7.5.

Woodger, J.H., *Biology and Language*, Cambridge, Cambridge University Press, 1952, Lect. I, sec. I, y Lect. II, sec. I.

6. LEY

Una ley científica es una hipótesis de una clase especial, a saber: una hipótesis confirmada de la que se supone que refleja una pauta objetiva. El lugar central de las leyes en la ciencia se reconoce al decir que el objetivo capital de la investigación científica es el descubrimiento de pautas o regularidades. Las leyes condensan nuestro conocimiento de lo actual y lo posible; si son profundas, llegarán cerca de las esencias. En todo caso, las teorías unifican leyes, y por medio de las teorías —que son tejidos de leyes— entendemos y prevemos los acontecimientos.

6.1. VARIABLES E INVARIANTES

La variedad y el cambio son hechos que lo penetran todo en el mundo. Además, el cambio se debe a la variedad, y la variedad es a su vez simplemente el resultado del cambio. Es probable que ningún par de cosas ni de acontecimientos sea idéntico o permanezca idéntico consigo mismo en todos los respectos, en todos los detalles y para siempre. Es posible que la identidad estricta no sea cosa del mundo real; la identidad en todos los respectos, entre cosas coexistentes o entre cosas sucesivas, es una hipótesis simplificadora, una hipótesis sin la cual no sería posible la ciencia. Si dos objetos reales (cosas o acontecimientos) parecen exactamente iguales o no parecen cambiar ni estar a punto de cambiar, en un respecto al menos, podemos suponer que esa apariencia que se nos muestra es falsa.

Más precisamente, podemos formular las siguientes hipótesis: (i) que la identidad empírica resulta de una insuficiencia para percibir diferencias reales, aunque sutiles, entre objetos coexistentes o sucesivos, y (ii) que nuestro error podrá finalmente corregirse mediante una observación más fina y un análisis más profundo. Esos dos supuestos son metodológicos más que científicos o metafísicos, y se entienden como aplicables no sólo a acontecimientos a gran escala (por ejemplo, históricos), sino también a objetos atómicos. Estos últimos difieren entre sí al menos por lo que respecta a su posición en los varios campos en que se encuentran, lo cual es un modo indirecto de decir que difieren por lo menos en cuanto a las interacciones en que se encuentran con el resto del universo.

La afirmación de que todo objeto real es único e irrepetible en todos los respectos no es una hipótesis científica, sino metafísica (ontológica). Pero es una hipótesis fundada, no arbitraria. Sin duda no queda confirmada por la práctica científica, la cual supone un intencionado desdibujamiento de distinciones menores con objeto de sacar a primer término la igualdad esencial de todos los miembros de una clase natural. Pero puede justificarse mediante un análisis científico (físico, por ejemplo) de los sistemas reales, análisis que muestra que incluso las partículas llamadas indistinguibles, como los electrones de un gas de esas partículas, son diferentes en algunos respectos: si no lo fueran, no po-

dríamos averiguar que son objetos distintos, y, consiguientemente, no podríamos tampoco contarlos (como lo hacemos de un modo indirecto). En este contexto ‘indistinguibilidad’ e ‘identidad’ no son sinónimos, y el primer término significa simplemente falta de individualidad. (Por ejemplo, se pueden intercambiar dos electrones en un sistema sin que cambien ni el sistema ni siquiera su estado; los electrones son intercambiables aunque no son idénticos.)

*Como consecuencia de ello rechazamos el principio leibniziano de la *identidad de los indiscernibles*, cuyo alcance es demasiado corto: no podemos basarnos en nuestra incapacidad de distinguir entre dos objetos –incapacidad que puede ser transitoria– para inferir su identidad. Aceptamos en cambio el principio inverso de la *indiscernibilidad de los idénticos*: si dos objetos son idénticos, entonces son indiscernibles. (Simbólicamente: $x = y =_{df} (P) [P(x) \leftrightarrow P(y)]$.) Este principio vale de modo no-vacío para objetos conceptuales; y vale de modo vacío para objetos materiales, porque la condición no se cumple en este caso nunca con exactitud. En el mundo real la identidad es siempre parcial, y nuestro principio de unicidad de todo existente sólo admite la *identidad parcial*, la identidad en un respecto al menos, y la *identidad aproximada*, que es la identidad en todos los aspectos menos uno. La identidad parcial es la base de las clasificaciones, las generalizaciones y las leyes que expresan los esquemas, estructuras o invariantes de las cosas y los acontecimientos, prescindiendo de la variedad y el cambio. La identidad estricta es una ficción indispensable.*

Consideremos un sistema de átomos de la misma especie química, por ejemplo, de helio, todos los cuales se encuentren en el mismo estado, por ejemplo, el estado fundamental de energía. Esos objetos serán entonces idénticos desde los puntos de vista de la especie química y del estado: las dos propiedades serán en ese contexto *constantes*, no variables. Pero habrá diferencias entre esos átomos por lo demás idénticos; por ejemplo, ninguno tendrá exactamente la misma posición en el espacio que otro. Dicho de otro modo: la posición es una *variable* que puede tomar cierto número de valores, y, de hecho, una infinidad no-numerable de ellos. En principio, cada uno de esos objetos –y, en general, toda cosa y todo acontecimiento– puede caracterizarse de un modo total especificando los valores de algunas de las variables que representan sus propiedades; en primer lugar, pero no exclusivamente, la posición en el espacio-tiempo respecto de algún marco de referencia. Una tal caracterización completa o *identificación de* (no ‘con’) un objeto real queda muy lejos del agotamiento de las propiedades del objeto, del mismo modo que la documentación de identidad de una persona no suministra el conocimiento de su personalidad. *Así pues, la posibilidad de identificar y nombrar objetos reales mediante la especificación de los valores de algunas de sus variables no significa que los objetos reales no *sean* más que haces de propiedades. En realidad, toda propiedad dada en el mundo real es propiedad *de* algo. Así, si escribimos meramente ‘*M*’ para significar la masa, el contexto deja fuera de duda que estamos hablando de la masa de una cosa de alguna clase, de tal modo que nuestra primera tarea en un análisis lógico será explicitar la variable de objeto, o sea, escribir ‘*M*(*x*)’ en vez de ‘*M*’ (análisis sintáctico) e indicar cuál es el dominio de individuos que constituye el campo de variabilidad de *x* (análisis semántico). La eliminación de los objetos físicos en favor de haces de propiedades –como han propuesto algunos filósofos– se debe a una deficiencia del análisis lógico de las propiedades

que se presentan en la ciencia, todas las cuales contienen variables de objeto, aunque normalmente no se mencionen de un modo explícito.*

La hipótesis de que no hay en el mundo dos objetos idénticos en todos los aspectos, en todos los detalles y para siempre puede reformularse del siguiente modo: Dados dos objetos reales cualesquiera, existe al menos una variable que no tiene exactamente el mismo valor para los dos. Este principio es, desde luego, irrefutable. Lo formulamos simplemente porque tiene fundamento y es fecundo: mueve al científico a buscar la diversidad por debajo de la identidad aparente. Pero también postulamos esta otra hipótesis ontológica: Dados dos objetos reales cualesquiera, hay al menos una variable uno de cuyos valores es común a ambos. Si todo objeto real fuera enteramente diferente de cualquier otro objeto real, o sea, si todas las clases fueran conjuntos-unidad, sería imposible la ciencia, y el concepto de variable sería además inútil: bastarían los nombres propios para toda identificación.

El concepto de variable nos permite discriminar cuidadosamente la diversidad y descubrir y explicitar la identidad parcial: sirve tanto para dar razón de la variedad y el cambio cuanto para dar cuenta de los esquemas de variación y de cambio. La siguiente suposición metafísica que consideramos, a saber, que la variedad y el cambio no son ni ilimitados ni caóticos, es el supuesto de que existen relaciones constantes entre ciertas variables, o sea, que existen leyes. Pero antes de acercarnos al concepto de ley será conveniente examinar algo más el concepto de variable. El término 'variable' abarca toda una familia de conceptos. Común a todos los miembros de esa familia es que la variable puede tomar al menos un valor determinado (fijado, particular).

En lógica nos interesan esencialmente tres clases de variables: variables proposicionales, variables individuales y variables predicativas. Las *variables proposicionales* son símbolos que denotan proposiciones cualesquiera, indeterminadas, o esquemas cuyos valores son proposiciones determinadas. Así, en " $p \rightarrow q$ " las variables proposicionales p y q no representan proposiciones dadas, sino proposiciones cualesquiera: toda fórmula cubre una infinidad de proposiciones. Las *variables individuales o de objeto* son símbolos que denotan individuos indeterminados, como la ' x ' de la fórmula " x es largo" y "la longitud de x es y cm". Estas variables se llaman individuales porque su campo de variabilidad consta de individuos: representan individuos sin especificar de un conjunto. Las variables numéricas, que son una subclase de las variables individuales, son símbolos que designan elementos de un conjunto de números. Por último, las *variables predicativas* son símbolos que designan propiedades indeterminadas o inespecificadas, ya sean de individuos —como en " $P(137)$ "— ya de otras propiedades— como en " P (propiedades mecánicas)". Para evitar absurdos y paradojas (por ejemplo "¿Qué dureza tiene la dureza?") se conviene en que todo predicado tiene que predicarse sólo de una variable de *orden inferior*: así tenemos toda una jerarquía de variables: predicados de primer orden, que designan propiedades de individuos; predicados de segundo orden, que designan propiedades de propiedades de primer orden, y así sucesivamente. Por tanto, 'más duro que' es un predicado de primer orden, mientras que 'asimétrico', que se predica de 'más duro que', es un predicado de segundo orden.

Toda fórmula científica se analiza o puede analizarse en una función proposicional, o sea, como una determinada combinación de variables de varios órdenes. Así, por ejemplo, "Se aprecian gérmenes letales en el fenotipo" es una fórmula de primer orden, o sea,

una fórmula que predica algo de individuos; en cambio, “El centro de masa es una propiedad no-distributiva (no-hereditaria)” es una fórmula de segundo orden. En resolución: por lo que hace a su estructura lógica, toda fórmula científica es una *fórmula del cálculo de predicados*. La situación se presenta como si la teoría lógica hubiera estado “siempre” esperando que se la rellenara con un contenido factual. Pero esto no es más que una manera de decir: no hay tal “siempre” para las ideas; por lo demás, las fórmulas lógicas son invariantes respecto de los cambios de interpretación de las mismas. Por otra parte, en la ciencia factual no nos interesan las variables en general, sino ciertas variables y ciertas relaciones concretas entre ellas. Distinguiremos las siguientes clases de variables extra-lógicas (factuales):

1. *Variables cualitativas*, o predicados dicotómicos, como “sólido”. Toda cosa en un determinado instante está en estado sólido o no está en él lo que justifica el nombre ‘variable dicotómica’. Pero, desde luego, si estamos precisamente estudiando sólidos, no nos interesamos por los cuerpos que no lo son, y así “sólido” se convierte en una constante. Las variables cualitativas no se presentan sólo en la ciencia factual, sino también en la matemática. Así, cuando consideramos el conjunto de todos los triángulos planos estamos efectivamente usando la noción de una variable cuyo campo es un conjunto de esa naturaleza: tal es, en efecto, el caso de cualquier frase que empiece así: ‘Consideremos un triángulo plano cualquiera...’

2. *Variables ordinales*, como “dureza” y “cohesión de un grupo social”. Los valores de las variables ordinales pueden ordenarse, pero las variables mismas no pueden someterse a operaciones aritméticas como la adición. Así, por ejemplo, si hemos estimado el valor placentero de tres caramelos asignando a cada uno un número entre 1 y 3, podemos resumir el resultado de esa operación ordenadora con el obvio enunciado “ $3 > 2 > 1$ ”, que consideraremos como abreviación de “El caramelo número 3 es mejor que el número 2, el cual es mejor que el número 1”. Pero eso no nos autoriza a inferir que el caramelo número 3 es tres veces mejor que el número 1, o una vez y media mejor que el número 2: esto sólo mostraría que confundimos una variable ordinal con una variable cardinal. (Volveremos a hablar de esto en la sección 13.1.)

3. *Variables cardinales*, o *magnitudes*, o, simplemente, *cantidades*, como la dimensión (numerosidad, cardinalidad) de una población, o la fuerza de un hábito. Las magnitudes se llaman también variables numéricas, porque su campo de variabilidad es un conjunto de números; pero este nombre es equívoco, porque las variables numéricas son una componente de las magnitudes. En realidad, la estructura de la magnitud más simple es “ $P(x) = y$ ”, con ‘ x ’ para designar la variable individual, ‘ y ’ para designar la variable numérica. Las variables numéricas de las magnitudes pueden someterse a operaciones matemáticas, pero con restricciones, así, podemos sumar las poblaciones de dos ciudades, pero no sus densidades de población.

Necesitamos tres conceptos más para caracterizar el de ley: son los de variable independiente, variable dependiente y parámetro. En una expresión como

$$y = mx + n \quad [6.1]$$

‘ x ’ e ‘ y ’ suelen llamarse, respectivamente, la *variable independiente* y la *variable depen-*

diente, mientras que ' m ' y ' n ' son *parámetros*. La distinción entre variable dependiente y variable independiente es contextual y, más precisamente, relativa a la fórmula en la cual se presentan las variables. Toda función explícita que expresa y mediante x puede, en ciertas condiciones, invertirse para que dé x sobre la base de y ; así, por ejemplo, [6.1] equivale a " $x = y/m - n/m$ ". En la ciencia, la variable independiente es a menudo (aunque no siempre) la *variable de control*, o sea, la variable a la cual pueden atribuirse valores (o cambiarlos) a voluntad dentro de ciertos límites. Esta distinción pragmática tiene una raíz ontológica: los cambios en los valores de la variable de control suelen llamarse *causas*, mientras que cambios resultantes para los valores de la variable dependiente se llaman *efectos*. Por ejemplo, al variar el volumen de nuestro aparato receptor de radio (causa) podemos molestar a nuestros vecinos todo lo que queramos (efecto). Por último, se da el nombre de parámetro a una variable cuyo valor no cambia porque cambien los valores de las demás variables; en el anterior ejemplo, m y n son parámetros porque sus valores se asignan independientemente de los de x y y . Dicho de otro modo: los parámetros son variables que en un contexto dado quedan congeladas.

Para todo par de valores de m y n , salvo el caso trivial $m = n = 0$, la función $y = mx + n$ puede considerarse como la representación analítica de una recta infinita del plano de coordenadas (x, y) . Si m y n pueden tomar valores diferentes, conseguimos un conjunto infinito de tales rectas: cada miembro de este conjunto puede entenderse como la ley de un individuo (cf. fig. 6.1). La relación lineal [6.1] puede interpretarse del modo siguiente: "Para cada par $\langle m, n \rangle$, cualquier valor dado de y se relaciona con el valor correspondiente de x del modo: $y = mx + n$ ". Se trata de una función proposicional con las variables numéricas m, n, x e y , con m y n ligadas por cuantificadores universales, y x e y libres, o sea, especificables de cualquier modo.

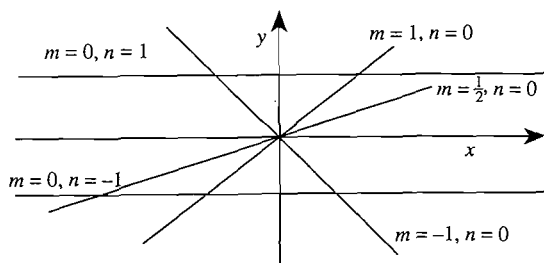


FIGURA 6.1. La función lineal [6.1] representa un conjunto infinito de rectas de un plano.

Hasta este punto [6.1] no es una ley científica, sino un hueco o *esquema* de una ley científica, porque las variables que se presentan en ella no tienen sino una interpretación aritmética. Sólo si se *interpretan* al menos las variables propiamente dichas (x e y), y no sólo como números cualesquiera (lo cual son ya), sino como variables numéricas de *propiedades* de algún sistema real, [6.1] puede convertirse en una ley científica. Son posibles interpretaciones en número ilimitado de cualquier esquema de ley; algunas serán verdaderas, otras serán falsas, otras carecerán de sentido en un contexto dado. Dicho de otro modo: todo esquema de ley puede recibir una infinidad potencial de interpretaciones factuales.

Una interpretación posible de [6.1] es la determinada por las siguientes reglas semánticas: ‘ y ’ designa el valor numérico que caracteriza las posiciones sucesivas de un punto de masa en movimiento libre; ‘ x ’ la duración del movimiento a partir de un comienzo convencional (tiempo cero, o sea, $x = 0$), ‘ m ’ la velocidad inicial y ‘ n ’ la posición inicial. Usando los términos corrientes, que sugieren esa interpretación del esquema de ley [6.1], tenemos

$$s(t) = vt + s_0 \quad [6.2]$$

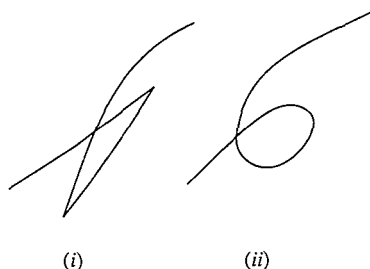
(Hemos escrito ‘ $s(t)$ ’ para expresar la distancia con el fin de indicar que ésta es función del tiempo t .) Esta ley, una de las leyes cuantitativas más simples, presenta con claridad el rasgo principal de toda ley, a saber, el ser una *relación constante* entre dos o más variables que se refieren a su vez (por lo menos parcial e indirectamente) a *propiedades de objetos reales*. La constancia consiste en que la particular relación (lineal) entre la distancia y el tiempo no cambia ni en el tiempo ni para individuos diferentes (especificados por valores determinados de los parámetros v y s_0).

La fórmula [6.9] es una *ley general*, puesto que no están especificados los valores de los parámetros v y s_0 que se presentan en ella. Podemos formar infinitos pares de valores numéricos $\langle v, s_0 \rangle$ de los parámetros, un par para cada *posible* punto de masa en movimiento libre. Por tanto, [6.2] subsume una *infinidad de leyes especiales*. Además, puesto que los parámetros indicados tienen como campo de valores los números reales y éstos constituyen un continuo, el conjunto de leyes especiales condensado por [6.2] es *un conjunto infinito no-numerable de leyes especiales*. Esto es característico de todas las leyes generales cuantitativas: esas leyes no sólo abarcan una infinidad de individuos, sino también una infinidad de circunstancias.

Esas infinitudes serían superfluas en el caso de una generalización empírica del tipo considerado en la lógica inductiva, puesto que la experiencia no puede dar más que un número finito de datos. Las leyes no son resúmenes de experiencias: las leyes tienden a reconstruir esquemas o estructuras de carácter objetivo, y esta referencia objetiva, este apuntar a una realidad más allá de la experiencia, requiere la introducción de infinitudes. En realidad, una ley como [6.2] especifica cuáles son los movimientos físicamente *posibles* de una determinada clase; al mismo tiempo rechaza por *imposible* todo movimiento de ese mismo tipo que consumiera, por ejemplo, menos tiempo del que ella prescribe. En general, todo enunciado legaliforme especifica una clase de *hechos posibles*; el complemento de ese conjunto es la clase de los hechos lógicamente posibles y físicamente imposibles (cf. fig. 6.2). Ambos conjuntos, el de los hechos posibles y el de los imposibles, pueden ser infinitos. Toda ley que incluya variables numéricas excluye o “prohíbe” muchos más hechos que “permite”; cuanto más fuerte es la “prohibición”, tanto más limitada es la clase de los hechos posibles. Pero esas “prohibiciones” tienen que entenderse, como es natural, en sentido metafórico: las leyes no imponen órdenes a los hechos.

Los valores de las propiedades relacionadas por una ley pueden ser distintos de un individuo a otro y de un momento a otro. Así, por ejemplo, un embrión en desarrollo —proceso único que no se repetirá nunca de un modo exactamente igual— tiene un determinado tamaño para cada edad; pero para todos los miembros de una especie dada, se supone que la *relación* tamaño-edad es la misma, al menos por término medio, aunque no se

FIGURA 6.2. Las leyes como restricciones de posibilidades lógicas: (i) un movimiento imposible para un avión que vuele a velocidad constante; (ii) un movimiento posible para ese mismo objeto.



conozca exactamente la función específica que relaciona ambas variables. Esto quiere decir que formulamos el siguiente esquema legaliforme: “Para todo x , si x es un embrión en desarrollo de una especie dada, entonces el volumen de x en el momento t es una función definida de t ”. (Simbólicamente $(x)[E(x) \ \& \ S(x) \rightarrow (V(x, t) = F(t))]$.) A diferencia de lo que hacíamos al principio del caso anterior, ahora hemos tenido *cuidado de indicar la variable individual*; en cambio hemos dejado sin especificar la función F . Es difícil que algún trabajo de embriología contenga formulaciones plenas de esquemas legaliformes, como es plena la formulación anterior: generalmente el embriólogo escribirá sólo el *consecuente* de dicho condicional, y pasará por alto la variable individual x , o sea, que escribirá: “ $V = F(t)$ ” para expresar la relación entre los valores numéricos del volumen y la edad, y afirmará con palabras del lenguaje común que se supone que ese esquema vale para todo momento y para todo miembro del conjunto de los embriones en desarrollo de una especie dada. Ese olvido del antecedente y de la variable individual queda justificado por razones prácticas, pero puede dar lugar a equívocos.

Obsérvese que nuestro esquema legaliforme no afirma que todos los embriones tengan el mismo tamaño inicial, ni tampoco, por tanto, que tengan todos el mismo tamaño a la misma edad: pues, por lo que sabemos hoy día, no hay dos huevos fecundados que tengan exactamente el mismo número de moléculas. O sea: nuestro esquema legaliforme no es del tipo “Siempre que ocurre A ocurre B ”, en el cual ‘ A ’ y ‘ B ’ designan casos particulares. Esas generalizaciones son más propias del conocimiento ordinario que de la ciencia. Las leyes científicas no afirman conjunciones de hechos, sino relaciones entre rasgos (variables) seleccionados; y tampoco afirman la igualdad entre individuos, sino la invariancia de ciertas relaciones, independientemente de los cambios que pueda haber en los valores de las variables individuales. En particular, un enunciado legaliforme que suponga tiempo no tiene por qué ser una ley de recurrencia: los esquemas recurrentes no son más que una subclase propia de los esquemas en general. Todo lo que afirma una ley científica es que hay diferencias individuales que cumplen en ciertos respectos ciertos esquemas o ciertas estructuras. Dicho brevemente: una ley es un esquema de variedad y cambio.

Terminamos esta sección con una caracterización del concepto de ley científica, caracterización que será afinada más tarde: Una ley científica es una hipótesis científica confirmada que afirma una relación constante entre dos o más variables, cada una de las cuales representa (al menos parcial e indirectamente) una propiedad de sistemas concretos.

Problemas

6.1.1. ¿Qué diferencia hay entre una caracterización total y un conocimiento que agote su objeto? *Problema en lugar de ése*: Un punto en el espacio-tiempo se caracteriza o identifica mediante un cuádruplo ordenado de números reales. ¿Implica esto una confusión de objetos concretos y objetos abstractos?

6.1.2. Examinar el enunciado ‘un cambio Δy de la variable dependiente corresponde a un cambio Δx de la variable independiente’. ¿Se está pensando al decir eso en cambios de las variables o más bien en diferencias en los valores de las variables? *Problema en lugar de ése*: Examinar la afirmación de Kant según la cual las propiedades de las cosas no pertenecen a las cosas mismas, sino a su apariencia para nosotros. Cf. sus *Prolegomena*, 1783, especialmente la sección 12, Observación II.

6.1.3. Comentar el siguiente fragmento de un trabajo de A. Rapoport en L. Gross (ed.), *Symposium on Sociological Theory*, Evanston, Ill., Row, Peterson and Co., 1959, p. 351: En la sociología, el proceso de selección de las variables “es tan laborioso y complicado que frecuentemente constituye el núcleo esencial del esfuerzo del científico social, de tal modo que pocas veces llega a formular ‘postulados’. Primero tiene que referir sus términos a correlatos. Pero estos correlatos no pueden exhibirse simplemente; tienen que abstraerse ellos mismos a partir de una rica variedad de acontecimientos, generalizaciones y relaciones. Cuando se ha abstraído y designado un número apreciable de esos correlatos, uno se encuentra ya ante un ‘sistema’ voluminoso, antes siquiera de que haya empezado el trabajo de buscar ‘leyes’. A veces, especialmente en sociología, esos ‘sistemas’ se toman por ‘teorías.’”

6.1.4. Tomar cualquier forma matemática (función, ecuación, etc.) distinta de [6.1] e interpretar los símbolos que contenga de dos modos distintos, para obtener dos posibles enunciados legaliformes. *Problema en lugar de ése*: Analizar el enunciado legaliforme: “El momento total de un sistema de partículas sometidas a fuerzas no-friccionales se conserva (constante en el tiempo)”. Simbolizarlo teniendo cuidado de identificar la variable individual (que en este caso es una cifra) y de formular el antecedente del condicional.

6.1.5. Examinar el modo como B. Russell –*An Inquiry into Meaning and Truth*, Londres, George Allen and Unwin, 1940, cap. VI– “suprime los particulares” sustituyéndolos por universales platónicos. En particular, examinar la afirmación de que “siempre que para el sentido común hay una ‘cosa’ que posee la cualidad *C*, diremos en vez de ello que existe *C* misma en ese lugar, y que la ‘cosa’ debe sustituirse por una colección de cualidades que existen en el lugar en cuestión. De este modo, ‘*C*’ deja de ser un predicado y se convierte en un nombre” (p. 98).

6.1.6. La mayoría de las generalizaciones de la sociología y la historia se refieren a hechos sin analizar: expresan relaciones entre acontecimientos, no relaciones entre propiedades indicadas por variables más o menos complicadas (no-observacionales). ¿Puede eso explicar la inmadurez de dichas disciplinas? *Problema en lugar de ése*: Varios filósofos de la ciencia piensan que no hay diferencia esencial entre una generalización de sentido común, de la forma “Siempre que ocurre *A* ocurre *B*” y una ley científica. ¿Puede esto explicar parcialmente la inmadurez de la filosofía de la ciencia?

6.1.7. Cuando los físicos afirman que las llamadas partículas elementales (por ejemplo, los electrones) son idénticas o indistinguibles, ¿piensan que (i) no son objetos objetivamente distintos, o que (ii) aunque tal vez sean objetivamente distintos no tenemos medios para distinguir entre ellos, o que (iii) son distintos, pero pueden intercambiarse sin que el sistema en su conjunto (del cual forman parte) sufra cambio alguno? *Problema en lugar de ése*: Examinar la opinión de K. Popper, según la cual cuanto más prohíbe el enunciado de una ley tanto mayor es su contenido. Estudiar el caso de las leyes estocásticas (probabilistas) y el caso de una región imaginaria en la que valiera la ley “Nada cambia”, o sea, en la que todo cambio estuviera “prohibido”.

6.1.8. Estudiar la explicación bioquímica y la explicación genética de la unicidad del individuo.

6.1.9. ¿Qué interés tendría el buscar leyes (i) si no hubiera en realidad ni variedad ni cambio, como pensaba Parménides, o (ii) si no supusiéramos la existencia de relaciones constantes entre relata variables, o (iii) si no tuviéramos formado de algún modo el concepto de relación constante o el de invariante de una transformación, o (iv) si la individualidad fuera incompatible con la pertenencia a una clase?

6.1.10. La idea de ley de la naturaleza fue concebida por unos cuantos pensadores de la Antigüedad y de la Edad Media, pero no llegó a imponerse hasta la época de Descartes, aproximadamente. La evolución del concepto de ley estuvo visiblemente correlatada con la del concepto de constricción social, pero se sabe poco sobre esto. Esbozar la evolución probable del concepto de ley de la naturaleza desde la Antigüedad hasta nuestra época. Pueden verse perspectivas interesantes en E. Zilsel, "The Genesis of the Concept of Physical Law", *Philosophical Review*, 51, 245, 1942, y J. Needham, *Science and Civilization in China*, Cambridge University Press, 1956, vol. II, cap. 18. *Problema en lugar de ése*: Examinar la doctrina según la cual el objetivo de la ciencia es la reducción del cambio aparente y la aparente diversidad a una identidad y una permanencia esenciales. ¿Qué presupone esa idea respecto de la relación entre la diversidad y la unicidad? ¿Y a qué noción de explicación lleva esa tesis? Cf. E. Meyerson, *Identité et réalité*, París, Alcan, 1908.

6.2. LA BÚSQUEDA DE LEYES

Las leyes científicas no correlatan a la vez todos los aspectos posibles sino sólo un número finito de variables seleccionadas. (No obstante, una ley puede contener una infinidad de variables de una determinada clase.) Lo que determina cuáles son los rasgos o variables que hay que seleccionar en la búsqueda de la ley es ante todo nuestra concepción del tema, ya sea general, ya específica del mismo. La visión democrítica del mundo sugiere que, excepto en las ciencias del hombre, las propiedades secundarias (las cualidades sensibles) no son lo que realmente importa, y que, por tanto, en las ciencias naturales debemos seleccionar propiedades primarias, como la longitud de onda (por ejemplo) más que propiedades secundarias, como el color (en el mismo ejemplo). La física ha necesitado mucho tiempo para descubrir un haz de variables fundamentales —y, por tanto, trasfenómicas— como "masa", "carga eléctrica" o "intensidad de un campo". La causa de ese retraso es clara: la física intenta dar razón de propiedades observables sobre la base de variables objetivas y fundamentales que rara vez presentan rasgos observables. Por eso tampoco puede asombrar el que los psicólogos y los sociólogos, que estudian sobre todo aspectos no-observables del comportamiento humano, estén empezando ahora a descubrir variables fundamentales para la explicación de la psique y de la sociedad. Desgraciadamente, no se puede saber si una variable es o no fundamental más que cuando ya se la ha encontrado en un conjunto de enunciados legaliformes de nivel alto (o sea, fuertes), sobre cuya base puedan expresarse otras variables derivadas como funciones de ellas. La búsqueda de variables fundamentales es inseparable de la de relaciones constantes y de alto nivel entre ellas, o sea, de la búsqueda de leyes ricas. Por eso los esfuerzos de muchos científicos conductistas por descubrir por observación las variables básicas sin formular hipótesis acerca de relaciones legaliformes es una pérdida de tiempo.

La más sencilla relación entre dos variables es, naturalmente, la relación de independencia recíproca, o sea, la falta de relación sistemática. He aquí un ejemplo de enunciado de irrelevancia recíproca entre dos variables: “La aceleración de un cuerpo en caída libre no depende de la masa”. ¿Puede aspirar este enunciado a ser una ley científica en el sentido caracterizado en 6.1? Sin duda, puesto que la relación de independencia o irrelevancia es un tipo de relación, y no debe confundirse con la falta de relación en sentido general. Cuando decimos que y es independiente de x significamos que los valores de y siguen siendo los mismos cualesquiera que sean los valores que tome x ; entre variables recíprocamente independientes pueden establecerse relaciones, lo cual no puede hacerse entre variables no-relacionadas: ya el enunciado de que dos variables no están correlacionadas establece una relación entre ellas. Pero ocurre que para cualquier conjunto dado de variables es posible establecer un número ilimitado de enunciados de irrelevancia recíproca: por ejemplo, podemos decir justificadamente que la aceleración de un cuerpo en caída libre es independiente de su color, de su textura, de su precio, de su valor estético, etc. Consiguientemente, hace falta un criterio para seleccionar las leyes de entre todos los posibles enunciados de irrelevancia recíproca. El único criterio realmente usado es el siguiente: Un enunciado de irrelevancia —una vez confirmado— puede ser ascendido a la categoría de ley si entra en conflicto con enunciados de relevancia hechos en una teoría rival o propuestos intuitivamente, o sea, que puede ser considerado como una ley si las variables afectadas se consideraban antes recíprocamente dependientes y resultan no serlo.

Junto con la irrelevancia se nos presenta, naturalmente, la relevancia. Decimos que dos variables son *recíprocamente relevantes* en un dominio dado si y sólo si un cambio en los valores de una de las variables constituye una diferencia en los valores de la otra. Las clases más sencillas de relevancia recíproca son las de relevancia favorable y relevancia desfavorable; pero estos casos no agotan ni mucho menos el concepto de relevancia recíproca. Podemos decir que el rearme es favorable a la tensión mundial, y a la inversa, y que la edad avanzada es desfavorablemente relevante para el metabolismo. Pero esas expresiones no se considerarán leyes, porque son demasiado vagas. Los enunciados legaliformes son mucho más fuertes y, por tanto, verdades muchos menos fáciles.

Un enunciado cuantitativo que se refiera al grado de correlación entre dos variables se acerca ya más al estatuto de una ley. El concepto estadístico de *coeficiente de correlación*, $r(x, y)$, entre las variables x e y es una dilucidación del concepto intuitivo de correlación. Y todo enunciado que atribuya un valor determinado a $r(x, y)$ es más fuerte que un enunciado cualitativo de relevancia favorable o desfavorable. Si $r(x, y)$ es cercano a $+1$, decimos que x es favorablemente relevante para y , y a la inversa, mientras que si $r(x, y)$ se acerca a -1 decimos que x e y son desfavorablemente relevantes la una para la otra. Si $r(x, y)$ es exactamente $+1$ o -1 , obtenemos, como caso especial, la relación lineal [6.1] entre x e y . (Cf. fig. 6.3.) Las variables funcionalmente interrelacionadas están correlatadas, pero no a la inversa: si el coeficiente de correlación se acerca a $+1$ o -1 , podemos sospechar la existencia de una ley; eso es todo. No podemos esperar descubrir en cada caso una ley por debajo de una correlación estadística constante: más bien tenemos que esperar diversos grados de compacidad en la relación entre variables, especialmente entre las que son observacionales. Si la correlación es alta —o sea, si los datos quedan cerca de una línea como la mostrada en la figura 6.3 (línea de regresión lineal)— podemos justificada-

mente interpretar la línea como una *tendencia*, aunque no todavía como una ley propiamente dicha.

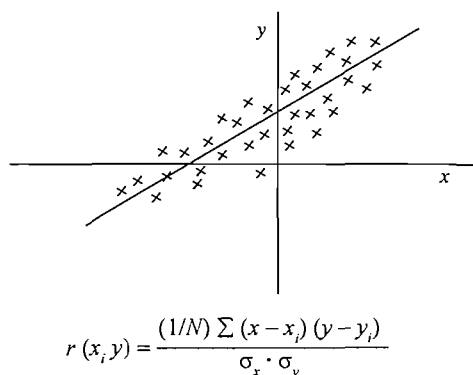


FIGURA 6.3. Variables linealmente correlatadas. La línea recta (línea de regresión lineal) es algo así como la media del acúmulo de datos.

No podemos, pues, sin más conocimiento, suponer que debajo de cada tendencia hay una ley; pero sí que podemos en todo caso buscar fundamento en favor o en contra de la hipótesis de que una tendencia es en realidad una ley difuminada por efectos del azar. Y así la línea recta de la figura 6.3 puede acaso interpretarse como la ley que *valdría*, si no fuera por las perturbaciones casuales; o sea, como una especie de “mensaje” perturbado por un “ruido” casual más o menos intenso. Pero para que esa interpretación sea razonable necesitamos disponer de algún fundamento, a poder ser teórico y empírico. Más precisamente, podemos suponer que una línea de tendencia oculta una ley sólo si (i) los datos tienden efectivamente a fundirse en la línea y con ella cuando las perturbaciones se hacen despreciables (por ejemplo, al enfriar sistemas físicos, al elegir grupos homogéneos en el caso de sistemas sociales), o (ii) se dispone de un modelo teórico que dé razón de la línea central subyacente al proceso casual.

*En cualquier caso, el cálculo de coeficientes de correlación y el trazado satisfactorio de líneas de regresión no debe confundirse con un *método para hallar leyes*, confusión tan frecuente en las ciencias sociales. Cuando se adopta un modelo de regresión lineal y se calculan los parámetros a partir de los datos, la ley central que se supone regir esa información “ruidosa” (dispersa) no se ha descubierto, sino que se ha supuesto desde el principio. No hay elaboración de datos estadísticos que produzca por sí misma nuevas hipótesis, por no hablar ya de leyes; en general, no hay esfuerzo técnico, por grande que sea, ni empírico ni matemático, que pueda ahorrarnos el trabajo de inventar nuevas ideas, aunque sin duda aquel trabajo técnico puede muy bien disimular la falta de ideas.

La relevancia recíproca de las variables se formula hipotéticamente o se descubre por suerte antes de que puedan hallarse las relaciones precisas (leyes) entre ellas. O sea: lo primero que se halla es un *esquema hipotético* referente a la relación entre ciertas variables, el cual luego se rellena. Si esos esquemas no se encuentran por pura suerte, pueden

rastrear mediante alguno de los procedimientos siguientes. Primero: alguna consideración teórica puede sugerir que una determinada variable es relevante para ciertas otras; así, por ejemplo, nuestro grosero conocimiento sociológico actual sugiere que la clase de trabajo es relevante para la mayoría de las demás variables que interesan en sociología. Segundo: a menudo es posible construir un experimento imaginario para sugerir relaciones: nuestro conocimiento suele bastar para imaginar qué ocurriría si faltara una variable dada, o si sus valores cambiaran de un modo determinado.

Pero esos procedimientos no pueden sino sugerir la existencia de una ley o de una relación sistemática (no accidental) entre dos o más variables. Esa sospecha tiene que someterse a contrastación empírica y esto se hace estadística o experimentalmente, según la naturaleza del sistema y las posibilidades de controlar efectivamente algunas variables. La contrastación estadística de una hipótesis de relevancia puede consistir en inquirir, sobre la base de datos observacionales, si existe o no una correlación significativa entre las variables objeto de nuestra sospecha. Y la contrastación experimental consistirá en cambiar deliberadamente el valor de una de las variables y en observar si entonces —y en qué medida— quedan afectadas por ello las demás supuestas correlatadas.*

Obsérvese que hasta el momento no nos hemos ocupado de enunciados legaliformes, sino más bien de hipótesis de correlación, que son conjeturas programáticas que construimos antes de formular enunciados de leyes propiamente dichas. La formulación y la puesta a prueba de esas hipótesis, aunque es un asunto importante, no sustituye a la búsqueda y la puesta a prueba de leyes científicas. Así, por ejemplo, la mera afirmación de que los resultados de una conjetura están por encima del azar (o sea, que esa conjetura acierta más de la mitad de las veces) no es un enunciado legaliforme, y, por tanto, su confirmación no establece ningún enunciado de ley. A lo sumo esa confirmación justificaría el programa de buscar leyes que expliquen la supuesta anomalía. Ésta es, dicho sea de paso, una de las razones por las cuales la parapsicología no puede considerarse científica: la parapsicología se contenta con hacer vagas afirmaciones de correlación, sin especificar las relaciones, o sea, sin formular leyes, por no hablar ya de someterlas a contrastación. (Cf. sec. 16.) Y donde no hay leyes, no hay ciencia.

Una vez establecida una hipótesis de correlación, uno se enfrenta con la tarea de establecer una relación precisa, y una vez conseguido esto se emprenderá la tarea de someter a contrastación el hipotético enunciado legaliforme. Desgraciadamente, no hay recetas para hallar fórmulas legaliformes precisas, salvo por lo que hace a las de nivel más bajo. La observación cuidadosa, tan a menudo recomendada como el camino que conduce a la ley, no bastará nunca por sí misma, porque las leyes no son observables: lo que observamos en el mejor de los casos son aspectos seleccionados de fenómenos que recogemos como datos; pero un enunciado legaliforme se supone que explica precisamente un tal acúmulo de datos, generalmente sobre la base de variables trasempíricas. Además, el flujo de la experiencia personal no tiene leyes: una secuencia de unidades experimentales (subjetivas) no cumple ninguna ley. Por tanto, para obtener leyes tenemos que poner o afirmar entidades que se encuentren por detrás de los cuerpos tangibles, y propiedades no accesibles a los sentidos, aunque relacionadas según ley con las cualidades sensibles.

La *observación* cuidadosa, junto con alguna hipótesis que la guíe, es un camino que

lleva a leyes de bajo nivel, o sea, a hipótesis observacionales; y a nada más. Supongamos que presumimos la existencia de una relación sistemática entre el porcentaje de una determinada sustancia química, C , en el protoplasma y la naturaleza de la especie biológica —o sea, que el porcentaje de C depende de la especie. Una primera contrastación de esta hipótesis de correlación puede consistir en llevar a cabo una búsqueda y medición de C en unos cuantos ejemplares de órdenes distantes. El paso siguiente puede ser el averiguar el contenido exacto de C en una muestra al azar de una determinada especie S . Tal vez podamos de este modo llegar a establecer una modesta ley de la forma: “El contenido medio de C en S es del $s\%$, con una desviación estándar σ ”. Luego podemos intentar relacionar el contenido de C en especies íntimamente relacionadas, intentando así descubrir la filogénesis de la especie dada, o bien podemos estudiar la posible influencia del medio (por ejemplo, el efecto de la salinidad del agua en el contenido de sal en varias especies de peces). De este modo podemos establecer miles de leyes insignificantes de bajo nivel. Pero mientras no nos enfrentemos con el problema de aclarar el papel de C (en el metabolismo, por ejemplo) y mientras no intentemos dar razón de las diferencias en cuanto a contenido de C entre diferentes especies, no pasaremos de aumentar la montaña, ya considerable, de la literatura protocientífica, en la cual se acumulan sin objeto alguno datos aislados y generalizaciones empíricas aisladas.

Una técnica corriente para hallar leyes de bajo nivel que correlacionen unas pocas variables cuantitativas (magnitudes) es la siguiente, que vamos a describir con referencia a dos variables nada más. Se empieza por conseguir datos empíricos cuantitativos y por tabularlos. Luego se aplica una *técnica de interpolación* corriente —con la ayuda de una calculadora si se trata de muchas variables— y se obtiene el resumen polinómico más simple de los datos. Con esto puede tenerse la siguiente interpretación geométrica de los factores o *input* (datos) y del producto o *output* (polinomio); cada dato es un punto de un espacio de tantas dimensiones cuantas variables se consideren, y el polinomio es la figura más uniforme (línea de superficie) que pasa cerca de los “puntos empíricos”. Las corrientes fórmulas de interpolación para dos variables dan polinomios de grado $n - 1$ para n datos. Esbozemos ese procedimiento con un ejemplo.

Supongamos que hemos hallado que el ángulo de refracción, r , de un rayo de luz depende del ángulo de incidencia, i (hipótesis de correlación). Deseamos hallar la ley exacta que correlaciona esas dos variables en el caso de un determinado medio transparente y de un dado color de la luz. Podemos proceder como sigue. Practicamos primero mediciones de ángulos con intervalos de 10 grados y, por ejemplo, 1 minuto de precisión, y tabulamos los resultados de nuestras mediciones. Así conseguimos la tabla 6.1, que ex-

TABLA 6.1

i	r	i	r
0°	0°00'	50°	22°31'
10°	4°59'	60°	25°40'
20°	9°51'	70°	28°01'
30°	14°29'	80°	29°30'
40°	18°44'	90°	30°00'

pone nuestros hallazgos. Pero esa tabla, que es un sumario de resultados experimentales, es evidentemente insuficiente: (i) no contiene más que un número finito de datos, y (ii) no nos ayuda a explicar el fenómeno de la refracción. Consiguientemente, buscamos una fórmula de la forma " $r = f(i)$ ", que cubra infinitos pares posibles $\langle i, r \rangle$ de ángulos. Con este fin, señalamos los datos en el plano i - r y unimos los "puntos empíricos" con una línea continua: esto nos dará una representación intuitiva de la fórmula (cf. figura 6.4). Vemos así que, hasta los 30° aproximadamente, la aproximación lineal —la línea de puntos que representa la función " $r = 0,5 i$ "— es bastante buena. A partir de ahí la diferencia aumenta perceptiblemente, llegando al 40% en 90° . Antes de que se descubriera la ley, Kepler había conjeturado que hay alguna relación lineal entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción. Esto es bastante común en la historia de la ciencia. Lo primero que suele conjeturarse (no siempre, sin embargo), son *aproximaciones de primer orden*, o sea, las hipótesis más simples.

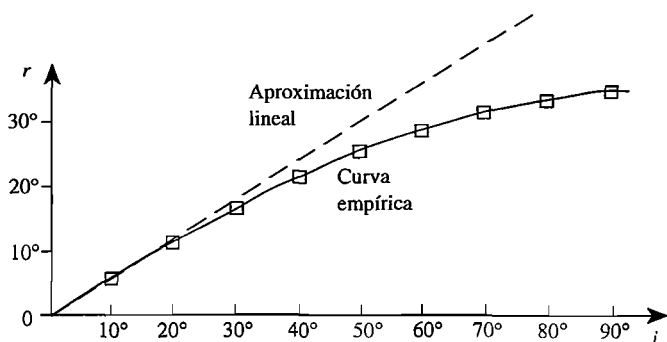


FIGURA 6.4. Representación y generalización de la tabla 6.1, referente a la relación entre el ángulo de incidencia i y el ángulo de refracción r . Cada cuadrado representa un dato empírico.

Para perfeccionar la aproximación de primer orden podemos añadir un término cuadrático a la anterior expresión, esto es, podemos escribir $r = 0,5 i + ai^2$, siendo a un número negativo pequeño que sirva para flexionar la curva hacia abajo. Pero no tenemos necesidad de buscar al azar; Gregory y Newton —entre otros— nos han legado una técnica mecánica de interpolación por medio de la cual nuestros diez pares de números de la tabla 6.1 pueden encajar en un polinomio de grado 9. Este procedimiento puede perfeccionarse sin más límites que los que imponga la sensibilidad de nuestros instrumentos de medición. Podemos empezar por tomar intervalos de un grado, luego de un minuto, y así sucesivamente hasta que tropecemos con dichas limitaciones instrumentales (que son técnicas y físicas). Así vamos consiguiendo datos cada vez más detallados, aunque al precio de una complejidad creciente. Por ejemplo, si las lecturas son cada décima de segundo —y si se tiene paciencia— puede conseguirse un polinomio de 54 000 términos. Pero esto no nos haría adelantar ni un solo paso hacia la hipótesis verdadera, que es la ley de Snell.

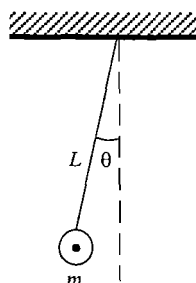
La ley de Snell puede formularse del siguiente modo: "El seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción es igual a una constante [el índice de

refracción para el par de sustancias considerado]”. Simbólicamente: $\text{sen } i / \text{sen } r = n = \text{const.}$ Esta ley vale, con cualificaciones, no sólo para el particular par de sustancias considerado en el ejemplo, sino para todos los pares de medios transparentes conocidos. Suministra cierta comprensión del fenómeno de la refracción y goza del apoyo de la teoría ondulatoria de la luz, pues es un teorema deducible en ella. Es imposible obtener mediante una técnica de interpolación una ley como la de Snell, porque supone una función no-algebraica (trascendental) y estas funciones (como el seno, el logaritmo y la función exponencial) pueden desarrollarse en series de potencias infinitas, pero no en polinomios finitos. *Las funciones trascendentales o trascendentes son *infinitamente más complejas* que las funciones algebraicas más complicadas; sólo tipográficamente son más simples. Sin duda es posible aproximarse cuantitativamente a cualquier función trascendental dada por medio de un polinomio, y mejorar esa aproximación todo lo que se quiera, de modo que no quede diferencia numérica notable entre la función exacta y su aproximación algebraica; pero la función misma sigue siendo en lo esencial diferente tanto de la millonésima aproximación como de la primera. Esta diferencia puede no tener importancia para fines prácticos; por ejemplo, un fabricante de lentes puede perfectamente salir del paso con una aproximación de segundo orden a la ley de Snell. Aún más: la ley de Snell es *empíricamente indistinguible* de la correspondiente generalización empírica si el proceso de interpolación se lleva adelante suficientemente. Pero teóricamente la diferencia es abismática. Primero: mientras que el polinomio cubre y generaliza un conjunto finito de datos, la ley exacta cubre un conjunto de datos potencialmente infinito. Segundo: no podemos explicar ninguna de las aproximaciones algebraicas a la ley de Snell, la cual, en cambio, puede explicarse con la ayuda de principios de nivel superior, como el principio de duración extrema (mínima, en particular) de las trayectorias de la luz, debido a Fermat, o también las ecuaciones ondulatorias, aún más ricas, de la óptica física; dicho de otro modo: mientras que la ley exacta es susceptible de teoretización, la generalización empírica se queda fuera de la teoría.*

En resumen: dado un conjunto de datos empíricos, pueden hallarse infinitas funciones que los recojan, y la simple aritmética permite construir una buena función algebraica (polinomio) para recoger esos datos. No hay ningún criterio único y simple —como alguna clase de simplicidad— para regular la elección entre ellas. Los principales criterios de selección son los siguientes: (i) eficacia en el recubrimiento de los datos; (ii) posibilidad de teoretización (es decir, de inserción en una teoría, o desarrollo hasta dar de sí una teoría), y (iii) posibilidad de interpretar las constantes que aparecen en la función. Los polinomios del tipo suministrado por una técnica de interpolación satisfacen la primera condición tan adecuadamente como se desee, pero no cumplen, en cambio, los otros dos criterios: en primer lugar, son fórmulas aisladas, no miembros de amplias familias (como lo es, por ejemplo, $\text{sen } nx$); en segundo lugar, contienen constantes puramente numéricas sin significación factual.

Otra técnica diferente, útil, pero limitada, en la búsqueda de leyes de nivel inferior, es el *análisis dimensional*. Supongamos que deseamos hallar la ley de la oscilación del péndulo simple (cf. fig. 6.5) y que por alguna razón no deseamos usar el único método que es razonable para el descubrimiento de leyes de nivel bajo en dominios ya explorados, a saber, la aplicación de alguna teoría, como la mecánica newtoniana. Empezaremos

FIGURA 6.5. Un modelo teórico de un péndulo que oscila en el vacío con oscilaciones pequeñas.



entonces por enumerar las relaciones que presumimos relevantes, con sus dimensiones correspondientes:

<i>Variable</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Fórmula dimensional</i>	<i>Unidad</i>
Periodo de oscilación	T	T	sec
Longitud del péndulo	L	L	cm
Masa del péndulo	m	M	g
Aceleración de la gravedad	g	L / T^2	cm/sec ²
Ángulo de oscilación	θ	---	grado

Al establecer esa lista teníamos presente un determinado modelo teórico, aunque no usáramos una teoría. De hecho, hemos prescindido de propiedades secundarias, hemos eliminado las faltas de rigidez y hasta el aire, hemos supuesto que el disco del péndulo está suspendido de un soporte físico mediante un hilo inextensible, etc.; dicho de otro modo: hemos despreciado como secundarias las propiedades del soporte, el disco, el hilo y el medio, con excepción de las propiedades enumeradas. Nuestro objeto es, en definitiva, un péndulo *ideal*, y lo que buscamos es la ley de este objeto ideal. Más precisamente, buscamos una relación $R(T, L, m, g, \theta)$ entre las variables sospechosas de relevancia, tal que esa relación se mantenga *invariante bajo el cambio de unidades*. (Hay que subrayar la invariancia de las leyes respecto de la elección de unidades, para contrarrestar el difundido error de que las unidades son esenciales para la ciencia. De hecho, la consideración de las unidades no interviene hasta el último estadio, el de la contrastación (cf. 13.5).) Supongamos que hayamos resuelto esta relación para el periodo de oscilación $T = F(l, m, g, \theta)$. Ningún cambio de la unidad de masa puede compensarse mediante un cambio de cualquiera de las restantes unidades, porque ninguna de las variables supuestamente relevantes depende de la masa, salvo la masa misma. Por tanto, m no puede ser una variable relevante, y la anterior relación se reduce así a $T = F(L, g, \theta)$. Si ahora cambiamos la unidad de longitud, quedará afectado g y, por tanto, L y g tendrán que combinarse de tal modo que no cambie T ; dicho de otro modo: todo cambio de L tiene que compensarse con un cambio de g por la adopción de una nueva unidad de longitud. La única combinación que satisface este requisito es L/g ; este cociente no depende de la longitud. Por tanto, escribiremos $T = F(L/g, \theta)$. Ahora bien, como θ carece de dimensio-

nes, puede presentarse en cualquier forma, por lo que hace al análisis dimensional; por tanto, podemos separarlo del modo siguiente: $T = F(L/g)f(\theta)$. Pero L/g tiene que presentarse de tal modo que la dimensión del segundo miembro sea la misma que la del primero (principio de homogeneidad dimensional). Como la dimensión de L/g es T^2 (cf. la tabla anterior), tenemos que exigir que L/g se presente bajo el signo de raíz cuadrada, o sea, que $T = \sqrt{L/g} \cdot f(\theta)$, fórmula en la cual $f(\theta)$ sigue sin determinar. Hasta aquí puede llevarnos el método del análisis dimensional. El experimento nos enseña entonces que, para pequeños ángulos de oscilación, $f(\theta) \cong 6$. Y la mecánica analítica nos muestra que, en esas mismas condiciones, esa constante empírica es exactamente 2π , una constante que, para grandes ángulos de oscilación, tiene que sustituirse por una función del ángulo. Es obvio que ningún cúmulo de datos experimentales, por grande que fuera, habría podido dar nunca ni la raíz cuadrada ni el valor exacto de $f(\theta)$.

En conclusión: hay determinadas técnicas para condensar y generalizar datos, o sea, para obtener *enunciados legaliformes de bajo nivel*. Pero esos métodos (i) presuponen que se dispone ya de los conceptos relevantes (variables relevantes), (ii) utilizan modelos teóricos más o menos simplistas del objeto estudiado, y (iii) son de alcance limitado, aunque no sea más que porque no suministran relaciones con otros enunciados legaliformes: dan sólo hipótesis aisladas de bajo nivel. Las fuertes hipótesis que se presentan como supuestos iniciales de las teorías no pueden obtenerse nunca mediante las técnicas que hemos ilustrado en lo que precede. No se conocen reglas para inventar conceptos de nivel alto, ni enunciados legaliformes que los relacionen: a diferencia de la búsqueda de generalizaciones empíricas, la creación de conceptos teóricos y de leyes no es una actividad normada y orientada por reglas.

Pero antes de discutir las varias clases de leyes debemos familiarizarnos con cierto número de ejemplares de enunciados legaliformes: a esto se dedica la sección siguiente.

Problemas

6.2.1. Los sociólogos se complacen en llamar 'leyes' a enunciados como el siguiente: "La presión que experimentan los miembros de un grupo para comunicarse entre ellos depende de la discrepancia de opinión percibida sobre un tema entre los miembros del grupo y de la presión de los miembros del grupo para conseguir la uniformidad de opinión." ¿Es éste un enunciado legaliforme, o más bien una hipótesis acerca de la existencia de una relación funcional (que aún queda sin especificar) entre tres variables, o sea, una hipótesis programática? *Problema en lugar de ése*: Recoger algunas hipótesis programáticas de las que se presentan en revistas de psicología y de sociología.

6.2.2. Citar un par de variables recíprocamente irrelevantes, otro de variables favorablemente relevantes y otro de variables desfavorablemente relevantes.

6.2.3. Estudiar el análisis de correlaciones estadísticas en la búsqueda de leyes. Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, cap. 11, sec. 5, y la bibliografía en él citada. *Problema en lugar de ése*: La mayoría de las variables cambian de modos que no son obviamente según leyes. La ley de variación, cuando existe, puede hallarse muchas veces analizando la variable en movimientos periódicos simples de amplitud decreciente y frecuencia creciente, y estableciendo luego una contrastación de ese análisis (armónico). Examinar esa búsqueda de periodicidad y averiguar si las periodicidades suministran leyes básicas o sus soluciones.

6.2.4. ¿Existiría la irrelevancia si toda propiedad estuviera rígidamente relacionada con toda otra propiedad y, consiguientemente, todas las leyes constituyeran un solo sistema rígido, un bloque universal? ¿Qué hipótesis ontológicas sugiere la mera existencia de leyes bien corroboradas, cada una de las cuales correlata unas cuantas propiedades?

6.2.5. La tabla 6.1 abrevia diez proposiciones singulares. Formular plenamente cada una de esas diez proposiciones. Luego comparar ese conjunto de proposiciones con el enunciado de la correspondiente ley (la de Snell). Para fines de comparación escríbase esta última ley simplemente así: ' $L(i, r)$ ', sin dejarse confundir por el hecho de que la ley de Snell no se escriba corrientemente como función explícita de la forma " $r = f(i)$ ", sino como una función implícita de la forma " $f(i, r) = 0$ ". Esta última puede resolverse fácilmente para r , a saber: $r = \sin^{-1}(\sin i/n)$. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema de la adecuación de un polinomio para recoger un conjunto de datos por medio de la fórmula de interpolación de Newton-Gregory.

6.2.6. Todo par de sustancias transparentes (aire-agua, vino-cuarzo, aceite de oliva-agua, etc.) se caracteriza desde el punto de vista óptico por un determinado valor del índice de refracción. ¿Nos encontramos ante leyes distintas cada vez que se da a n un valor diferente? *Problema en lugar de ése*: Explicitar la forma lógica de la ley de Snell.

6.2.7. Hasta el momento, los investigadores que han buscado leyes históricas han intentado obtener generalizaciones empíricas a partir del material histórico disponible. ¿Es posible que ese método dé algo más que generalizaciones empíricas aisladas? ¿No sería posible formular modelos hipotéticos de sociedades en evolución, con la ayuda de la ciencia social?

6.2.8. E. Husserl, el fundador de la escuela fenomenológica, sostenía que las leyes esenciales se obtienen mediante el método de la "variación eidética", por el cual se practican "transformaciones libres" de las "intuiciones esenciales"; las invariantes de tales transformaciones serían las leyes esenciales. ¿Estaría el lector dispuesto a reconocer leyes esenciales, distinguiéndolas de las no esenciales, y a establecer una sola ley esencial con la ayuda del método de Husserl?

6.2.9. ¿No podría convertirse la búsqueda de leyes en una actividad normada y orientada por reglas? Y si se conocieran las reglas adecuadas, ¿no sería posible confiar a calculadoras la tarea de hallar las leyes a partir de los datos? Pueden, desde luego, programarse calculadoras para hallar los coeficientes de polinomios dado un conjunto de datos, pero el problema es si esas máquinas serían capaces de hallar funciones no triviales y las ecuaciones básicas que resuelven dichas ecuaciones.

6.2.10. Supongamos que se sospecha una asociación entre determinadas variables. El primer problema consiste en averiguar si están efectivamente correlacionadas. Si se obtiene efectivamente una alta correlación, el problema siguiente consistirá en averiguar si esa correlación es genuina (sistemática) o espúrea (sin sentido). ¿Cómo podemos proceder para resolver ese problema? ¿Tomaremos una muestra más amplia o intentaremos explicar la tendencia observada sobre la base de mecanismos, o sea, de leyes independientemente contrastables? ¿Y qué situación se planteará si no conseguimos hallar tales mecanismos? ¿Concluiremos que la correlación es espúrea o suspendemos todo juicio?

6.3. CLASES

Hay tantas clases de leyes científicas cuantos puntos de vista o criterios de clasificación queramos adoptar. Un punto de vista muy ilustrativo consiste en considerar los niveles cualitativamente diferentes —los llamados niveles integrativos— según los cuales puede analizarse la realidad: el nivel físico-químico, el biológico, el psicológico y el sociocultural (cf. sec. 5.9). Cada uno de esos niveles puede caracterizarse por variables y leyes pro-

pías, y las relaciones objetivas entre esos niveles se explicarán mediante leyes inter-niveles. Agrupemos, pues, las variables que se presentan en una investigación científica del modo siguiente:

Variables físicas, φ_i , por ejemplo, la intensidad de la luz.

Variables biológicas, β_j , por ejemplo el sexo.

Variables psicológicas, ψ , por ejemplo, el impulso.

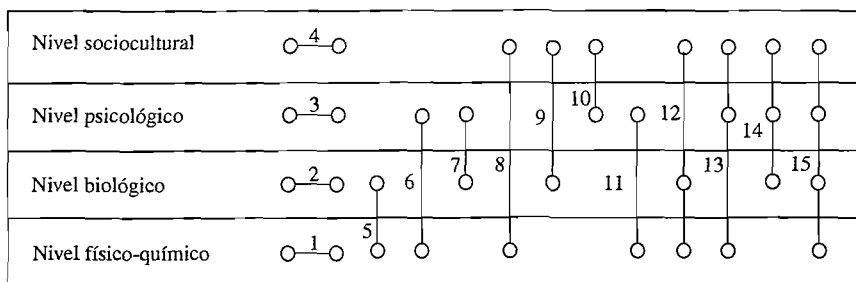
Variables sociológicas, σ_i , por ejemplo, la división del trabajo.

Las varias relaciones constantes, fundadas y confirmadas, entre tales variables compondrán el conjunto de leyes científicas conocidas. Las leyes que relacionan variables pertenecientes al mismo nivel (por ejemplo, las relaciones variable física-variable física) pueden llamarse leyes *intranivel*. Las que correlacionan variables pertenecientes a diferentes niveles (por ejemplo, la relación nivel de azúcar en la sangre-fatiga) pueden llamarse leyes *interniveles*.

Pueden existir *a priori* las siguientes clases de leyes (por lo que hace a la estructura de nivel):

1. $\varphi_i = F(\varphi_i)$	<i>Leyes físicas y químicas</i>	] LEYES INTRANIVEL
2. $\beta_j = F(\beta_j)$	<i>Leyes biológicas</i>	
3. $\psi_i = F(\psi_i)$	<i>Leyes psicológicas</i>	
4. $\sigma_i = F(\sigma_i)$	<i>Leyes sociológicas</i>	
5. $\beta_i = F(\varphi_i)$	<i>Leyes biofísicas y bioquímicas</i>	] LEYES INTERNIVELES
6. $\psi_i = F(\varphi_i)$	<i>Leyes psicofísicas y psicoquímicas</i>	
7. $\psi_i = F(\beta_j)$	<i>Leyes psicobiológicas</i>	
8. $\sigma_i = F(\varphi_i)$	<i>Leyes sociofísicas</i>	
9. $\sigma_i = F(\beta_j)$	<i>Leyes sociobiológicas</i>	
10. $\sigma_i = F(\psi_i)$	<i>Leyes sociopsicológicas</i>	
11. $\psi_i = F(\varphi_j, \beta_k)$	<i>Leyes psicobiofísicas</i>	
12. $\sigma_i = F(\varphi_j, \beta_k)$	<i>Leyes sociobiofísicas</i>	
13. $\sigma_i = F(\varphi_j, \psi_k)$	<i>Leyes sociopsicofísicas</i>	
14. $\sigma_i = F(\beta_j, \psi_i)$	<i>Leyes sociopsicobiológicas</i>	
15. $\sigma_i = F(\varphi_j, \beta_k, \psi_e)$	<i>Leyes sociopsicobiofísicas</i>	

Esas varias relaciones posibles pueden representarse diagramáticamente del siguiente modo:



Puede parecer que los conjuntos 12 a 15 de las leyes interniveles son vacíos; pero no es así. El conjunto 12° está constituido por las leyes de la ecología social. El 13° puede ejemplificarse con las leyes de la psicología social, en las cuales estímulos físicos y sociales determinan variables de comportamiento. Ejemplos de la 14ª clase son las leyes de la psicología social en las cuales variables biológicas (como el sexo) y sociales (como el estatus social) determinan variables de comportamiento. Y ejemplos de la 15ª clase son las leyes de la psicología social que cubren el comportamiento de individuos sometidos a la acción conjunta de estímulos físicos, biológicos y sociales.

Las leyes de los tipos 6, 8, 9, 12 y 13 saltan algunos niveles intermedios. Esto puede parecer una violación del principio ontológico que prohíbe saltarse niveles (cf. sección 5.9), el cual se basa en el estudio de los mecanismos que relacionan niveles diferentes. Así, por ejemplo, sabemos que un estímulo físico no actúa directamente sobre un estado mental, sino que tiene que poner primero en acción el organismo, puesto que, en última instancia, los fenómenos psíquicos son conjuntos de especiales funciones del organismo. Tampoco los estímulos biológicos obran directamente sobre el nivel social: primero los sufren individuos; así, por ejemplo, la falta de alimentación se sufre o percibe como hambre. Por tanto, también en el caso de las leyes biosociológicas falta un eslabón. Basándonos en esas consideraciones podríamos tener la tentación de eliminar todos los enunciados legaliformes que omiten variables pertenecientes a niveles intermedios. Pero esta conducta sería errónea: mantendremos esas leyes, pero no como leyes últimas, y pediremos, llegado el caso, su análisis último sobre la base de las variables omitidas. Por ejemplo, pediremos el análisis de la ley psicofísica " $\psi = F(\phi)$ " del modo siguiente: $\psi = G(\beta)$, $\beta = H(\phi)$, con lo que la ley inicial se convertiría en $\psi = G[H(\phi)]$; las variables de comportamiento serían así funciones de funciones de las variables físicas, y no funciones directas de éstas. Dicho de otro modo: las leyes que se saltan niveles intermedios no pueden aceptarse más que como globales relaciones interniveles, y los mecanismos detallados de la relación entre niveles contiguos tienen que descubrirse hallando sus leyes correspondientes. Dicho brevemente: en última instancia el planteamiento fenomenológico tiene que sustituirse por otro más profundo, representacional (cf. sec. 5.4).

Consideremos ahora unas cuantas leyes científicas para poner de manifiesto algunos de sus rasgos.

Ley física: "La energía de un sistema aislado es constante". Este enunciado es incompleto porque no dice en qué respecto no cambia la energía; pero por el contexto se entiende que la cantidad de energía es constante en el tiempo. Hay varios modos de decir exactamente que una propiedad, como la energía total, permanece constante en el tiempo (o respecto de alguna otra variable). La manera más simple y directa consiste en escribir

$$\frac{\partial E}{\partial t} = 0.$$

Es decir que, para todo instante t comprendido en el intervalo temporal $[a, b]$, la energía total del sistema aislado x es constante. (Simbólicamente: $(t)(t \in [a, b] \ \& \ A(x, t) \rightarrow E(x, t) = \text{const.})$. En esta notación ' A ' es un predicado cualitativo diádico que repre-

senta la propiedad “aislado”, y ‘E’ es un predicado cuantitativo diádico que representa “energía”. En realidad, la fórmula presupone un marco de referencia fijo; si se explicita esa presuposición, hay que añadir una nueva variable de objeto a A y E, los cuales se convierten entonces en predicados triádicos.

Ley química: “La molécula de agua consta de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno”. Obsérvese que el artículo ‘la’ desempeña aquí el papel del cuantificador universal: lo que queremos decir es que toda y cada molécula de agua tiene esa composición. Consiguientemente, la versión desarrollada es, pues: “Para todo x , si x es una molécula de agua, entonces x se compone de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno”. Podemos considerar que el concepto de composición es un functor *sui generis* y representarlo por ‘ $C(x)$ ’; con esto simbolizaremos el conjunto: $(x) [A(x) \rightarrow C(x) = H_2O]$. Si recordamos que la química cuenta con más de diez millones de leyes de composición de ese tipo, tendremos que admitir que es la ciencia más rica en cuanto a enunciados legaliformes. Si nos resulta necesario, podemos añadir que la composición de la molécula de agua es independiente del espacio y del tiempo, o sea, que es *espacio-temporalmente universal*, y no sólo *referencialmente universal* (que quiere decir: cuantificada universalmente respecto de la variable de objeto, o variable individual). La universalidad espacio-temporal, que es un supuesto corriente cuando se trata de leyes de la naturaleza, puede indicarse explícitamente introduciendo la variable ‘ π ’ para la posición en el espacio-tiempo; cada valor de π será un cuádruplo ordenado de números: uno para el tiempo y tres para las coordenadas espaciales. Podemos entonces escribir nuestra ley química del modo siguiente: $(\pi) (x) [A(x, \pi) \rightarrow C(x, \pi) = H_2O]$, lo cual significa: “Siempre y en todo lugar, la composición de toda partícula de agua es H_2O ”. No necesitamos repetir la cláusula ‘siempre y en todo lugar’ cada vez que escribimos una ley de la naturaleza, siempre que precisemos de una vez y para siempre la siguiente metaley, o ley de leyes: “Las leyes no están fechadas ni situadas”. No tiene ningún peligro el aceptar este principio metanomológico, con la condición de que nos demos cuenta de que es una hipótesis metafísica (ontológica) muy fuerte. Pero sigamos con nuestros ejemplos.

Ley geológica: “Si no hay plegamientos, los estratos geológicos más profundos son los más antiguos”. Forma desarrollada: “Si x e y son dos estratos geológicos diferentes, y si x e y no están plegados, entonces si x es más profundo que y , entonces x es más antiguo que y ”. Simbólicamente: $x \neq y \ \& \ E(x) \ \& \ E(y) \ \& \ N(x) \ \& \ N(y) \rightarrow [P(x, y) \rightarrow A(x, y)]$. Dicho sea de paso, la geología es una de las ciencias pobres en leyes. Sería interesante averiguar si realmente es así o eso sólo es fruto de su presentación habitual: ¿hay pocos esquemas objetivos geológicos, son la física y la química suficientes para la mayoría de los fines geológicos, o se encuentra aún la geología en un estadio poco desarrollado?

Ley biológica: “Los cromosomas se multiplican por dos”. Forma desarrollada: “Si x es un cromosoma, entonces x se duplica a sí mismo”. Simbólicamente: $C(x) \rightarrow D(x)$.

Ley psicológica: “Los esquemas de comportamiento innatos son más estables que los adquiridos”. Aquí es conveniente añadir la variable individual, una x cuyo campo de variabilidad sean todos los organismos. Si no se hace así, puede entenderse que ese enunciado significa que los esquemas adquiridos por cualquier organismo son menos estables que los esquemas innatos de ese mismo organismo (lo cual es verdad) o de diferentes organismos (lo cual es falso). La forma desarrollada es pues: “Para todo x , para todo y y

para todo z , si x es un organismo e y es un esquema de comportamiento innato de x y z es un esquema de comportamiento adquirido de x , entonces y es más estable que z ". Simbólicamente: $(x) (y) (z) [O(x) \& I(y) \& A(z) \rightarrow E(x, y, z)]$.

Ley sociológica: "Las culturas ganaderas son nómadas". Simbolización obvia: $(x) [G(x) \rightarrow N(x)]$. Dicho sea de paso, frecuentemente se afirma que ésta es *la* forma de las leyes científicas.

Ley histórica: "La horda precede a la tribu y la tribu precede a la sociedad estratificada". Aquí también, como en el caso de la ley psicológica, falta la variable individual: la ley significa que en el desarrollo histórico de todo grupo humano —llamemos x a la variable correspondiente— se presenta esa secuencia esquemática. Simbolización posible: $G(x) \& t < t' < t'' \rightarrow H(x, t) \& T(x, t') \& E(x, t'')$.

Vamos a detenernos ahora ante un instructivo caso histórico: la historia del *principio de Arquímedes*, una de las primeras leyes científicas. Pasando por alto cierta leyenda referente a una corona y una bañera, el problema que se puso Arquímedes consistía en dar razón de la flotación de los cuerpos. El conocimiento ya disponible era insuficiente, aunque contenía en ese momento algunas generalizaciones empíricas laxamente formuladas que Arquímedes tiene que haber aprovechado, como por ejemplo, "Los sólidos desplazan a los líquidos", "Los cuerpos sumergidos en un líquido pesan menos", "La flotación depende de la clase de líquido". Se trataba de generalizaciones vagas y aisladas tomadas de la experiencia común. Arquímedes tiene el mérito de haberlas convertido en leyes cuantitativas y recíprocamente relacionadas. Pero para eso tuvo primero que conjeturar las variables necesarias y suficientes para dar cuenta de la flotación.

En esa búsqueda de variables relevantes, Arquímedes puede haberse guiado por el precepto de la filosofía atomista que ordena seleccionar como variables fundamentales las cualidades primarias; y puede haber eliminado varias candidatas a variables fundamentales, como la viscosidad y la transparencia del líquido, o la forma y la composición del sólido flotante; pueden haberle bastado para ello unas pocas pruebas. En cualquier caso, Arquímedes redujo el conjunto de las variables relevantes a tres nada más: presión hidrostática, flotación o empuje hacia arriba (pérdida de peso) y cantidad de líquido desplazado. Además, aún redujo esas tres variables a aplicaciones de un solo concepto, el de peso. Ahora estamos ya acostumbrados a buscar variables cuantitativas, pero en tiempos de Arquímedes dominaban el prejuicio platónico contra la posibilidad de construir una ciencia de la naturaleza y la física cualitativa y especulativa aristotélica. Arquímedes no puso los fundamentos de la hidrostática y la estática —los capítulos más tempranos de la teoría física— mediante la simple aplicación de un método, sino que tuvo que inventar incluso el planteamiento correcto.

El problema siguiente era "descubrir" (o sea, concebir o imaginar) la ley que relacionara las tres variables. (Probablemente se le habrán ocurrido varias hipótesis con otras variables distintas de las mencionadas, y probablemente también descartó las variables irrelevantes después de someter a contrastación alguna de esas otras hipótesis. Pero no nos quedan informaciones acerca del proceso de invención y descubrimiento.) Tal vez el primer paso consistiera en suponer que la presión, la flotación y la cantidad de líquido desplazado eran todas fuerzas de la misma clase, expresables como pesos. Entonces el problema inicial se le replantearía del modo siguiente: ¿Cuál es el peso que equilibra la

pérdida de peso $P - P_a$ de un sólido que pesa P en el vacío y P_a sumergido en el fluido? La pregunta era pues: $(?X) (P - P_a = X)$. Es claro que X era la flotación, es decir, la presión de abajo a arriba ejercida por el fluido sobre el cuerpo flotante y causa de la flotación de éste. La idea de que esa fuerza o presión es un peso de alguna clase estaba presupuesta por la pregunta misma, y se seguía del principio de homogeneidad dimensional (que Arquímedes, naturalmente, no ha formulado). El problema siguiente consiste en hallar el peso de X .

Parece claro que X no es un peso del cuerpo, puesto que el problema contiene ya los dos pesos relevantes de dicho cuerpo, a saber, P y P_a . Tampoco puede ser X el peso de todo el líquido, puesto que, dentro de amplios límites, la flotación es independiente de la cantidad de líquido. Podemos entonces suponer que X está relacionado con el peso del líquido desplazado por el sólido. Eso no es una hipótesis, sino más bien un esquema hipotético, o una clase infinita de hipótesis, mientras no se precise la relación. Probemos con la conjetura más simple, a saber, que X es igual al peso del líquido desplazado. Si esa hipótesis supera la contrastación, la mantendremos; si no la supera, probaremos con otra conjetura más complicada. Consiguientemente, introducimos en " $P - P_a = X$ " la hipótesis " $X = P_f$ ", en la cual ' P_f ' representa el peso del fluido desplazado. Así obtenemos: $P - P_a = P_f$. O sea: "Si un cuerpo sólido se sumerge en un fluido, pierde peso, y su pérdida de peso equivale al peso del fluido desplazado". Como es corriente, la fórmula matemática ignora el antecedente de este condicional.

Eso —el principio de Arquímedes— es un intento de resolver el problema " $(?X) (P - P_a = X)$ ". Antes de aceptarla como ley, esa hipótesis tiene que superar algunas contrastaciones. Para someter a contrastación la hipótesis de Arquímedes podemos proceder del siguiente modo. Primero pesamos un sólido en el vacío, o sea, determinamos P . Luego sumergimos el cuerpo en un fluido, y medimos el nuevo peso, P_a , del cuerpo en él. Luego pesamos el fluido desplazado, y obtenemos el número P_f . Luego realizamos la sustracción $P - P_a$, lo cual es una operación conceptual, y comparamos ese número con P_f , lo cual es otra vez una operación conceptual. Si la diferencia entre los dos números es menor que el error experimental admitido, concluimos que el principio de Arquímedes ha sido confirmado para el par sólido/fluido elegido. La generalización del principio, primero para todos los pares de una clase, luego para todos los pares posibles, se hizo probablemente después de probar con unos cuantos pares. Aún mejor contrastación del principio es su uso continuo como medio para obtener pesos específicos, porque esos valores pueden comprobarse independientemente mediante el procedimiento directo de pesar y hallar el volumen de los sólidos y dividir luego el peso por el volumen.

Hoy día afinamos un poco el principio añadiéndole la condición de que el cuerpo esté en equilibrio con el fluido. Y también solemos sustituir "Pérdida de peso" por "presión de abajo a arriba" u otras ideas parecidas. (Tanto la antigua cuanto la nueva son inobservables, pero fácilmente inferibles.) Una versión moderna elemental del principio puede ser: "Si un cuerpo sólido se sumerge en un fluido y se encuentra en equilibrio con él, entonces sufre una presión de abajo a arriba igual al peso del fluido desplazado". En forma desarrollada: Si x es un cuerpo sólido e y es un fluido y x está sumergido en y y x está en equilibrio con y , entonces la presión de abajo a arriba ejercida sobre x por y equivale al peso del líquido desplazado". Simbólicamente:

$$C(x) \& F(y) \& S(x, y) \& E(x, y) \rightarrow F(x, y) = P_f$$

En los manuales de física no se encontrará más que el consecuente de este condicional. Pero la formulación explícita de las condiciones como *parte* del enunciado legaliforme tiene la ventaja de que muestra con claridad cuáles son sus *condiciones de validez*. Si esas condiciones no se cumplen, puede conservarse el condicional, pero éste se hace *irrelevante*. Tal es el caso, por ejemplo, de los fluidos en movimiento: una corriente de abajo arriba que se desarrolle en el fluido falsará, naturalmente, tanto el antecedente cuanto el consecuente de la ley, pero no el condicional entero. Esos casos no son, pues, excepciones a la ley, sino simplemente casos fuera de su dominio. Pero ¿puede haber excepciones a la ley de Arquímedes? ¿No podemos hallar un concreto par sólido/fluido que false la ley o, por lo menos, imponga su transformación en un enunciado para *casi* todos los casos? Sin duda podemos hallar excepciones; pero sería insensato preocuparse por buscarlas a estas alturas: si existen, que se presenten por casualidad. Se ha asumido más bien una actitud constructiva a este respecto, que consiste en no buscar excepciones ni acumular confirmaciones con la esperanza de aumentar el grado de verdad de la hipótesis por el procedimiento de reforzar constantemente su grado de confirmación. La actitud constructiva ha consistido en intentar *teoretizar* el principio, o sea, en insertarlo en un cuerpo de teoría. Y hace mucho tiempo que eso se ha conseguido: el “principio” de Arquímedes es hoy día un teorema derivado de leyes fundamentales de la mecánica, las cuales le suministran un apoyo del que carecería si siguiera siendo una conjetura aislada empírica o semiempírica. Repasemos una derivación elemental del “principio”, el ejercicio será instructivo.

Consideremos un líquido homogéneo en reposo e imaginemos en su seno una región limitada por la superficie imaginaria S (cf. fig. 6.6). Por hipótesis, el líquido se encuentra en reposo, y también lo están, por tanto, todas sus partes (macroscópicas), en particular S . Ahora bien, el líquido delimitado por S ejerce una fuerza hacia abajo, igual a su peso P_f , sobre el fluido que se encuentra debajo. Según el principio de igualdad de acción y reacción (tercer principio de la mecánica newtoniana), la fuerza P_f queda equilibrada por una presión hacia arriba, F , que se origina en el líquido situado por debajo de S , o sea: $P_f = F$. Sustituyamos ahora el líquido encerrado en S por un sólido; o sea, sumerjamos un cuerpo sólido del mismo volumen que S y tal que se encuentre en equilibrio con el líquido. El líquido antes contenido en S quedará entonces desplazado, y el sólido experimentará una presión de flotación igual a la de antes, P_f , ejercida sobre S . Esta presión puede, por otra parte, definirse como la pérdida de peso del sólido: $F =_{df} P - P_a$. Sustituyendo en la ley “ $P_f = F$ ” obtenemos el “principio” de Arquímedes.

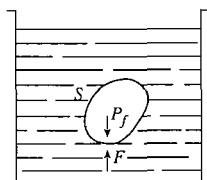


FIGURA 6.6. Una parte del líquido en equilibrio con el resto: la presión hacia arriba, F , equilibra el peso (hacia abajo), P_f .

¿Qué hemos ganado con esta derivación de la ley de Arquímedes? Varias cosas. En primer lugar, ahora *entendemos* la flotación como un caso particular de equilibrio de fuerzas. En segundo lugar, comprendemos que la ley de Arquímedes no es una mera generalización empírica que, como “A los argentinos les gusta la carne”, puede ser falsa o hacerse falsa sin necesidad de reajuste alguno en la red de las leyes. En tercer lugar, como consecuencia de la conversión de la ley en una fórmula de la mecánica, la ley ha ganado *apoyo indirecto*: además de sus apoyos directos —a saber, la clase de sus ejemplos o aplicaciones—, la ley de Arquímedes goza ahora de la ayuda de apoyos indirectos, que son todas las confirmaciones de los principios generales de la dinámica; a su vez, ella misma es ahora un apoyo de esos principios. Todo éxito de la mecánica clásica, como la explicación correcta de un movimiento oscilatorio, o el cálculo preciso de la órbita de un satélite artificial, se convierte en un apoyo indirecto a la ley de Arquímedes. Y todo fracaso de esa teoría —por ejemplo, los que le ocurren cuando se trata de cuerpos muy pequeños— arroja la duda sobre la universalidad del principio de Arquímedes, y puede incluso mostrar en qué dominio es posible suponer que sea falso.

A tenor de lo dicho, nadie conseguirá una beca o financiación para el proyecto de recoger más confirmación directa de la ley de Arquímedes (programa inductivista) ni para el de explorar el universo a la búsqueda de un concreto sólido y un concreto fluido que refuten la ley (programa refutabilista). Las siguientes son, en todo caso, empresas más fecundas que éstas: hallar la dimensión de los cuerpos (partículas brownianas) para las cuales falla el principio; relajar las condiciones de equilibrio y hallar una generalización para condiciones que no sean de equilibrio; investigar teorías generalizadas de la mecánica que no supongan el principio de acción y reacción (la fórmula legaliforme usada en la derivación del principio de Arquímedes). La teoretización y la demarcación del dominio de validez de una ley son tareas mucho más iluminadoras y fecundas que las meras contrastaciones empíricas de la misma.

Problemas

6.3.1. Formular una ley física o química y llevar a cabo un análisis lógico y terminológico de la misma para mostrar su forma lógica y estudiar el grado de ostensividad de los predicados que se presentan en ella.

6.3.2. Hacer lo mismo con una ley biológica o psicológica. *Problema en lugar de ése*: Analizar una ley interniveles.

6.3.3. Hacer lo mismo con una ley sociológica o histórica. *Problema en lugar de ése*: Clasificar las ciencias en disciplinas de un nivel y disciplinas interniveles.

6.3.4. En su tratado *Sobre los cuerpos que flotan* ofreció Arquímedes una derivación de su ley, pero sin plantearse el problema de su contrastación. ¿Lo hizo (i) porque no consideraba necesaria la contrastación, a causa de que consideraba autoevidentes sus axiomas, o (ii) porque pensaba (coincidiendo con tantos pensadores del siglo xx) que la matematización garantiza la verdad factual; o (iii) porque no consideró digno de un hombre libre mencionar que había llevado a cabo contrastaciones empíricas? Cf. la colección *Greek Mathematics*, trad. de I. Thomas, Londres y Cambridge, Mass., The Loeb Classical Library, 1941, pp. 249-251, y p. 31 por lo que hace a la opinión de Plutarco sobre la actitud de Arquímedes respecto de las artes útiles. *Problema en lu-*

gar de ése: Según J. J. C. Smart, *Philosophy and Scientific Realism*, Londres, Routledge, 1963, cap. III, no hay leyes biológicas, igual que no hay leyes de la ingeniería. Discutir esa opinión. Sugerencia: consultar algún manual de biología molecular, fisiología, o ecología.

6.3.5. Proponer un ejemplo de sistematización (teoretización o teorificación) de una ley, o sea, un ejemplo de conversión de una hipótesis inicialmente aislada en un axioma o un teorema de una teoría.

6.3.6. En la derivación de la ley de Arquímedes se supuso que la fuerza o presión de abajo arriba, F , “sentida” por el sólido, era la misma que la “sentida” por la porción de líquido incluida en la superficie S . En particular, no se supuso que la presión F dependiera de ninguna otra propiedad del sólido que no fuera su volumen, el cual era también el volumen del líquido desplazado. ¿Puede mantenerse esa suposición en una física finalista? En caso negativo, explicitar alguna conclusión acerca de la relación entre la investigación científica y las hipótesis metafísicas (ontológicas) generales.

6.3.7. La química tiene probablemente más leyes que la física, pero las leyes de la química son mucho menos relacionadas unas con otras en su propio nivel: o sea, no parece posible establecer relaciones lógicas entre ellas. Son las leyes físicas que subyacen a las químicas las que suministran a estas últimas una especie de sistematicidad deductiva: tomadas en sí mismas, como aún lo estaban no hace mucho tiempo, las leyes de la química se relacionan poco unas con otras. Comentar esta situación y examinar la opinión según la cual cada ciencia se ocupa de una concreta red, de un particular sistema de leyes. Espécular también acerca de la posibilidad de que, si hay leyes de la historia, no sean sistemáticas de un modo primario, sino derivativo, en el sentido de que las leyes de la sociología puedan darles una sistematicidad derivada.

6.3.8. ¿Significa la fórmula metanológica “Las leyes son independientes de su localización en el espacio-tiempo” que todas las leyes rigen, por así decirlo, en todos los rincones del universo, incluso donde no hay más que espacio? ¿Y excluye esto la posible extinción de algunas leyes, o la aparición de leyes nuevas?

6.3.9. Siguiendo una indicación del texto, el *apoyo total*, $A(h)$, de que goza una hipótesis podría definirse como la numerosidad o la cardinalidad de la unión de los conjuntos de apoyos directos e indirectos de h , o sea, $A(h) =_{df} \text{Card} [D(h) \cup I(h)]$. Examinar esa sugerencia. En particular, considerar separadamente los cuatro casos que se obtienen al suponer que alguno de los conjuntos —el de los apoyos directos, D , y el de los apoyos indirectos, I — es finito o infinito. Si $D(h)$ o $I(h)$ son infinitos, ¿serán conjuntos de apoyos reales, o más bien de apoyos potenciales? En este último caso, ¿cómo pueden determinarse?

6.3.10. Los científicos se interesan por delimitar el dominio de validez y la imprecisión de los enunciados legaliformes, más que por medir su grado de confirmación, lo cual es, en cambio, la tarea central de la lógica inductiva. ¿Indica esta diferencia de interés una especie de mancha ciega en la visión de los científicos o una falta de familiaridad de los cultivadores de la lógica inductiva con la tarea de la investigación? ¿O indica otra cosa distinta de esas dos?

6.4. FORMA Y CONTENIDO

El requisito lógico más obvio que imponemos a las hipótesis para considerarlas leyes es la *generalidad en algún respecto y en alguna medida*. (El requisito de estar bien formadas queda recogido ya en la decisión de considerar una conjetura como una hipótesis científica.) Exigimos, pues, que por lo menos una de las variables que se presentan en la

fórmula de la ley tenga prefijado el operador ‘para todo’, o el operador ‘para casi todo’, o el operador ‘para la mayoría de’; si ocurre lo primero, o sea, si la ley es una hipótesis estrictamente universal, entonces solemos prescindir de mencionar explícitamente el cuantificador. Si la ley se refiere a un individuo (como ocurre con las leyes geofísicas, que se refieren a nuestro planeta), exigiremos que el enunciado exprese el comportamiento regular del individuo indicado por un cuantificador universal respecto del tiempo; el cuantificador puede ser restringido o no-restringido, y también puede estar explícito o tácito; pero tiene que estar: porque si no, la proposición sería particular, no general. Si la fórmula de la ley no se refiere a un individuo, sino a una clase, podemos tolerar la cuasi-generalidad, como en el caso “La mayoría de las sales de los metales alcalinos son muy solubles en agua”, o “La mayoría de los mamíferos tienen pelos”. ‘La mayoría de’ y ‘casi todos’ no han merecido nunca el respeto de los lógicos, que los tratan junto con ‘hay al menos un’; pero en la ciencia su estatus es mucho más alto que el del operador existencial; una fórmula con ‘casi todos’ puede ser una ley propiamente dicha, y una fórmula con ‘la mayoría de’ puede ser la promesa de una ley universal.

La importante ley del aumento de la entropía es una típica ley con ‘casi todos’: “Si un sistema es aislado, entonces en casi todos los casos pasará a estados de mayor entropía”. Innumerables teoremas de la física estadística llevan prefijadas expresiones como ‘para casi todos los puntos’, o ‘para casi todas las trayectorias’; y pese a ser cuasi-universales se las considera fórmulas legaliformes perfectamente respetables. En la matemática, la expresión análoga ‘con la excepción de un conjunto de medida cero’ se encuentra con frecuencia en teoremas generales, y nadie se atreverá a negar la generalidad de esos enunciados, aunque el conjunto que constituye la excepción puede ser infinito. Las leyes estrictamente universales, o sea, las fórmulas legaliformes que no tienen excepciones y poseen un alcance infinito, se formulan muy frecuentemente, pero, de hecho, eso no prueba que efectivamente valgan con esa generalidad sin límites. Las leyes microscópicas, que son en realidad promedios o resultados de macroleyes, no carecen, ciertamente, de excepciones, aunque por regla general no se enuncie la tasa de excepción. En cualquier caso, las fórmulas legaliformes cuasi-universales son tan valiosas como los enunciados legaliformes estrictamente universales, especialmente si (i) es posible dar razón de las excepciones esperables, y (ii) no son generalizaciones empíricas, sino miembros de teorías.

Entre los enunciados legaliformes no-universales, los más curiosos son los manifiestamente estadísticos. Las *leyes estadísticas* más simples son tal vez las de porcentajes, como “El 50% de los automóviles que tienen más de cinco años están fuera de uso en los Estados Unidos de América”. Esta generalización empírica no se refiere a cada individuo de una determinada clase: los porcentajes (o, lo que es lo mismo desde este punto de vista, las frecuencias relativas) no son propiedades de individuos, sino propiedades no hereditarias, no-distributivas, o sea, propiedades colectivas que no pueden distribuirse entre los miembros de la colección. Un breve análisis dejará esto en claro, suscitando, por otra parte, importantes cuestiones. La forma de nuestra generalización estadística es “La fracción f de los A son B ”. Sean ‘Card (A)’ y ‘Card (B)’ las expresiones que designan los números de los miembros, o cardinalidad, de los conjuntos A y B respectivamente. En nuestro caso, Card (A) es el número de automóviles de más de cinco años, y Card (B) es el número de automóviles fuera de uso, sean viejos o no. Entonces el conjunto de los

automóviles que son a la vez de cinco años (A) y fuera de uso es la intersección $A \cap B$. Y la fracción de los automóviles fuera de uso en la clase de referencia (automóviles viejos) es por tanto $\text{Card}(A \cap B)/\text{Card}(A)$. Consiguientemente, nuestra generalización puede formularse así: $\text{Card}(A \cap B)/\text{Card}(A) = f$, expresión en la cual f designa una fracción entre 0 y 1, en nuestro ejemplo, $f = 0,5$. Es claro que ese enunciado estadístico no se refiere a los sistemas individuales que son los automóviles, sino a clases. Además, no tiene forma condicional.

Se pueden introducir individuos si, en vez del concepto empírico de porcentaje (o frecuencia relativa), utilizamos el concepto teórico de probabilidad. De hecho, el enunciado acerca de la fracción de automóviles fuera de uso en la clase de los automóviles viejos puede traducirse al siguiente *enunciado probabilístico*, que no es equivalente: “La probabilidad de que un miembro cualquiera de A se encuentre en B es igual a p ”, fórmula en la cual p es un número próximo a la frecuencia f . Más precisamente: si A es un conjunto no-vacío (o sea: $A \neq \emptyset$) y x es miembro de A , entonces la probabilidad de que x se encuentre en $A \cap B$ dado que x pertenece a A es igual a p . Simbólicamente: $A \neq \emptyset \rightarrow P(x \in A \cap B | x \in A) = p$. El llamar a esto una *traducción* del enunciado correspondiente relativo a porcentajes puede ser equívoco, porque las dos fórmulas no son equivalentes. En primer lugar, a diferencia del enunciado de frecuencia, su “traducción” a probabilidad refiere simultáneamente a clases concretas y a un individuo sin determinar. En segundo lugar, el hecho de que la variable numérica p del functor de probabilidad pueda considerarse igual a la fracción o al porcentaje observado, f , no significa que p sea lo mismo que f : (i) mientras que p es un concepto teórico, f es un concepto empírico y (ii) mientras que el valor de p se supone fijo, los varios valores de f , empíricamente hallados, son otras tantas estimaciones del valor único p . (Un enunciado de porcentaje no necesita contener conceptos teóricos, aunque puede tenerlos, mientras que los enunciados de probabilidad no pueden dejar de ser por lo menos semi-teóricos, aunque recojan números empíricamente hallados.) En tercer lugar, aunque f puede considerarse igual a p numéricamente, no significa lo mismo que p : en el caso de la generalización estadística se trata de una propiedad colectiva (no distributiva), mientras que en el caso del enunciado probabilístico se trata de una propiedad (potencial) de cada uno de los miembros de la clase de referencia, A . Además, la introducción de un número empíricamente hallado, como f , en el enunciado probabilístico tiene que justificarse mediante una regla de método que declare que el valor numérico de una probabilidad puede alcanzarse aproximadamente mediante la correspondiente frecuencia a largo plazo. En conclusión: tenemos que distinguir entre *enunciados estadísticos* (referentes, por ejemplo, a frecuencias relativas, módulos o dispersiones observadas) y *enunciados probabilísticos* (que contienen probabilidades o parámetros que se presentan en distribuciones probabilísticas). Los primeros pueden ser enunciados no-teóricos, o, más bien, semi-teóricos, mientras que los últimos son enunciados teóricos; los primeros no se refieren más que a propiedades colectivas; los segundos se refieren a individuos y clases a la vez. Los enunciados estadísticos y los probabilísticos pueden subsumirse unos y otros bajo el género de los *enunciados estocásticos*.

Algunos recalcitrantes deterministas de tipo clásico sostienen que los enunciados estocásticos no merecen el nombre de ley y deben considerarse, en el mejor de los casos, como expedientes transitorios. Esta opinión anacrónica no tiene ya vigencia alguna en

física, química y ciertas ramas de la biología (especialmente la genética), sobre todo desde que estas ciencias han descubierto que todas las leyes moleculares de su dominio son leyes estocásticas deducibles (en principio al menos) de leyes relativas a sistemas individuales, junto con determinadas hipótesis estadísticas referentes, por ejemplo, a las desviaciones casuales y su compensación. Pero el prejuicio contra las leyes estocásticas sigue perjudicando aún en psicología y sociología, ciencias en las cuales sirve para lanzar ataques contra el planteamiento estocástico sin compensar la pérdida del planteamiento estocástico con un estudio científico de los individuos. Ahora bien: es imposible dar cuenta adecuadamente del comportamiento de un individuo—sea un átomo, un sujeto humano o una comunidad— sin tener en cuenta las fluctuaciones espontáneas internas y las perturbaciones externas, y unas y otras tienen componentes casuales. El procedimiento para dominar el azar consiste en mirarle cara a cara, en vez de negarlo, y en descubrir sus leyes, reconociendo con ello su existencia objetiva. El azar es un fantasma dañino sólo en el caso de que se le considere como un caos sin ley o como algo último, como un modo de ser que se sustrae a todo análisis ulterior.

Se observará que, al escribir nuestra ley probabilitaria, e incluso alguna de las leyes consideradas en la sección anterior, prescindimos del cuantificador universal, o sea, que las formulamos como un enunciado acerca de ‘cualquiera e indeterminado’, no enunciados acerca de ‘todos’; dicho de otro modo, dijimos algo acerca de un miembro arbitrario, x , de un conjunto A , y no acerca de todo miembro de A . Pero, como es natural, supusimos tácitamente que la ley vale para todo valor de x ; si no, no la habríamos formulado siquiera. Esta significación mentada de la función proposicional en cuestión autoriza su cuantificación universal. Dicho de otro modo: aplicándole la regla de inferencia “Lo que vale para cualquiera vale para todos”, inferimos el enunciado universal

$$(x) [A \neq \emptyset \rightarrow P(x \in A \cap B \mid x \in A) = p],$$

el cual es un condicional general.

Un enunciado acerca de cualquiera, como $P(x)$, no es equivalente a su generalización $(x)P(x)$, sino equipolente con ella, en el sentido de que cada uno de los dos enunciados es inferible del otro: son pues deductivamente equivalentes. Además, son también pragmáticamente equivalentes: (i) decir que un individuo cualquiera—o sea, cualquier individuo, o un individuo tomado al azar— tiene la propiedad P es tan eficaz como decir que todo individuo tiene dicha propiedad; (ii) para someter a contrastación la generalización “ $(x)P(x)$ ” tomamos individuos cualesquiera, es decir, no privilegiados. Pero cuando no estamos dedicados a la aplicación ni a la contrastación de “ $(x)P(x)$ ”, esta fórmula no es equivalente a “ $P(x)$ ”. Las diferencias entre ambas son formales y semánticas, y merecen que se las precise porque son relevantes para la lógica de los enunciados legaliformes. La diferencia sintáctica entre un enunciado acerca de cualquiera y un enunciado acerca de todos es que el primero es más simple que el segundo. En la interpretación corriente (extensional), se supone que “ $(x)P(x)$ ” es la conjunción de enunciados singulares obtenidos de “ $P(x)$ ” mediante la atribución de valores determinados a x . Este desarrollo exige que x tenga como campo de variabilidad un universo numerable, o sea, que sea contable la clase $\{x \mid P(x)\}$. Pero ésa es una restricción muy severa que no puede satisfacerse por

fórmulas que contengan variables continuas. Por ejemplo, el enunciado “La gravedad es aproximadamente constante en todos los puntos de esta habitación” no puede desarrollarse como conjunción de proposiciones singulares cada una de las cuales se refiera a un punto de dicho volumen, porque ese conjunto de puntos es un conjunto continuo. Esta limitación de los cuantificadores universales a universos numerables no tiene, naturalmente, relevancia para los enunciados sobre cualquiera. En cambio, por lo que hace a significación manifiesta, ‘ $P(x)$ ’ carece de sentido aunque se especifique el valor de P : no tiene referencia o, si se prefiere decirlo así, su correlato es el individuo sin especificar designado por ‘ x ’. Si una fórmula no tiene sentido, entonces tampoco es contrastable, puesto que para averiguar si algo tiene efectivamente una propiedad dada o no la tiene, es necesario que esa cosa tenga esa propiedad o no la tenga. Apliquemos estas consideraciones a un elemental enunciado legaliforme.

La ley galileana de caída libre de los graves suele escribirse de la forma siguiente:

$$s(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + s_0 \quad [6.3]$$

en la cual ‘ $s(t)$ ’ designa la distancia recorrida por el cuerpo durante el tiempo t , ‘ g ’ la aceleración de la gravedad, ‘ v_0 ’ la velocidad inicial y ‘ s_0 ’ la posición inicial. Acabamos de formular las reglas semánticas necesarias para dotar a la fórmula matemática [6.3] de una significación factual; pero eso no basta, porque la fórmula en cuestión es un enunciado sobre cualquiera. Esto puede apreciarse fácilmente dándose cuenta de que se refiere a cualquier grave en caída libre, o sea, explicitando la variable individual. Para dar, pues, un referente fijo a la fórmula hay que identificar el cuerpo que cae. Y esto puede hacerse o bien dándole un nombre o bien dando los valores de su posición inicial, s_0 , y su velocidad inicial v_0 . De cualquiera de esos dos modos despojamos a [6.3] de su variable individual tácita, x , pero la fórmula sigue siendo abierta porque vale para cualquier tiempo. Si especializamos el valor de t , obtenemos un enunciado singular; también podemos, naturalmente, universalizar [6.3] para todo tiempo, pero esta operación no tiene ninguna ventaja visible inmediata: para fines de inferencia, usaremos la función proposicional [6.3], porque se la puede tratar como si fuera una proposición propiamente dicha. Consiguientemente, vamos a respetar la costumbre común de escribir los enunciados universales como si fueran enunciados con ‘cualquiera’, sin introducir los cuantificadores más que cuando sea necesario para fines de interpretación.

Otra cuestión relativa a la forma lógica propia de las leyes universales: ¿por qué hay que dar a las leyes universales la forma de condicionales generales? La razón es semántica, más que sintáctica, a saber: que la forma condicional sugiere la *condicionalidad*, y ésta es una característica de los enunciados legaliformes que los diferencia de los enunciados meramente descriptivos. Cuando afirmamos “ $p \rightarrow q$ ” no afirmamos que p ocurra de hecho, sino que si se da p , entonces se da q . Además, en el condicional se distinguen claramente —casi gráficamente— las condiciones *necesaria* y *suficiente*, lo cual no ocurre con ninguna otra forma equivalente que utilice conectivas simétricas, como “ $\neg p \vee q$ ” y “ $\neg(p \wedge \neg q)$ ”. Así, el antecedente de “Si llueve se moja el suelo” es la condición suficiente del consecuente. La cosa queda mucho menos obvia en las formas equivalentes “O no llueve, o se moja el suelo”, y “No ocurre que llueva y no se moje el suelo”. (Dicho

sea de paso, en la ciencia formal es relativamente sencillo establecer si vale un condicional. " $p \rightarrow q$ " es verdadero en un determinado sistema si q puede derivarse de p en ese sistema. En la ciencia factual no se cuenta con una regla tan sencilla: aquí tenemos que poder averiguar cuáles son las condiciones *físicamente* suficientes que interesan, y la lógica no puede prestar muchos servicios en esto. En general, podremos considerar que " $p \rightarrow q$ " es factualmente verdadero si y sólo si conseguimos mostrar que p , que lógicamente es condición suficiente de q , expresa además una situación físicamente suficiente para que se cumpla q ; y esto no puede averiguarse sino mediante una investigación teórico-empírica.) Por esa razón es el condicional una forma conveniente para la formulación de leyes.

Pero si nos decidimos a adoptar los condicionales, tenemos que cargar con las llamadas paradojas de la implicación; y ese cargar con ellas significa darse cuenta de que no son paradojas ni mucho ni poco. Por ejemplo, " $p \rightarrow q$ " es verdadero para todo p falso; los condicionales con antecedente falso son *verdaderos de modo vacío*, y esto se considera muchas veces como una situación paradójica. Empecemos por observar que la atmósfera paradójica no iba a ser, por eso sólo, muy densa en la ciencia, puesto que en ella no tenemos mayor interés en afirmar condicionales cuyos antecedentes sepamos falsos. Tomemos, por ejemplo, el enunciado del tipo de ley "Si x e y son estructuras o funciones biológicas, y si x es más compleja que y , entonces x está menos sometida a cambios evolutivos que y ". El antecedente es satisfactible y tiene alcance existencial: no es una mala presuposición fantasmal. En la ciencia, " $p \rightarrow q$ " es normalmente la formalización de "Si se supone p , entonces vale q ". Si la suposición p es falsa, el condicional sigue siendo válido, pero pierde todo interés. No exigiremos, sin duda, que todo antecedente sea verdadero: sabemos que es difícil alcanzar verdades factuales que sean estrictas e interesantes a la vez, y queremos conservar la libertad de formular hipótesis. Pero no llegaremos a exagerar esa libertad hasta el punto de formular condicionales cuyos antecedentes sean manifiestamente falsos. Tomemos, por ejemplo, el enunciado "Los videntes descubren todo secreto", simbolizable así: " $(x) (y) [V(x) \& S(y) \rightarrow D(x, y)]$ ". Este enunciado es verdadero de modo vacío porque $V(x)$ es falso para todos los valores de x , o sea, porque no hay videntes en el sentido espiritista del enunciado. Pero no aceptaremos esa verdad, porque es irrelevante, del mismo modo que el zoólogo no querrá interesarse por la verdad "Los centauros son sabios". Las verdades de ese tipo pueden obtenerse a millones, con sólo dar a una calculadora las instrucciones adecuadas para que dé a cada antecedente falso o insatisfactible consecuentes cualesquiera, como, por ejemplo, enunciados aritméticos.

Dicho de otro modo: no nos interesa acumular verdades irrelevantes, verdades referentes a entidades inexistentes o a condiciones imposibles. Cuando en el curso de la investigación formulamos un condicional, presuponemos normalmente la posibilidad de su antecedente, o sea, suponemos, tácita o explícitamente, que el antecedente de un condicional factual puede realizarse físicamente. No ocurre así, desde luego, con enunciados cuyas consecuencias lógicas queremos explorar: en esos casos se permite el científico la mayor libertad. Pero la anterior descripción vale sin ninguna duda para el caso de los enunciados legaliformes. Consideremos una ley $L(x)$ referente a un objeto indeterminado x , de una cierta clase; esa ley valdrá en ciertas condiciones $C(x)$, pues no es común

que una ley valga incondicionalmente. Lo que afirmamos es, pues, que si x satisface la condición C , entonces x satisface L también:

$$C(x) \rightarrow L(x) \quad [6.4]$$

A ese enunciado añadimos en sustancia la suposición de que la condición C es satisfactible; o sea, añadimos la presuposición de que *es posible que exista al menos un objeto x tal que x satisface la condición C* . (Esa suposición no nos impone el compromiso ontológico de afirmar la suposición, más fuerte, de que efectivamente *existe* tal objeto; la ulterior investigación puede luego mostrar que de hecho C es insatisfactible.) Esa presuposición, como cualquier otra, queda fuera de la inferencia deductiva en la que interviene el enunciado legaliforme, pero presta a éste el alcance existencial necesario para considerarle un enunciado legaliforme, y no una mera ficción. Así, por ejemplo, al deducir consecuencias de un conjunto de postulados referentes a alguna rara partícula nueva, no utilizamos la presuposición de que esa partícula puede existir, y aún menos la afirmación de que efectivamente exista; pero, en cambio, al establecer el conjunto de postulados sí que lo hemos sostenido mediante la presuposición existencial. Consiguientemente, la introducción del concepto modal de posibilidad —que sería un estorbo tanto para la inferencia cuanto para la contrastación— no exige abandonar la lógica ordinaria y adoptar algún sistema de lógica modal; éstos no se usan nunca en la efectiva inferencia científica.

Si tuviéramos que adoptar la versión fuerte de la suposición de existencia, completáramos [6.4] obteniendo

$$(\exists x) C(x) \rightarrow [C(y) \rightarrow L(y)] \quad [6.5]$$

En esa fórmula, el signo de inferencia invertido, ' $\rightarrow$ ', debe leerse 'es presupuesto por' (cf. sec. 5.1), y se han usado dos letras diferentes para la variable individual con objeto de mostrar claramente que el alcance del cuantificador existencial se limita a la primera vez que aparece la condición C . Pero como debemos admitir que acaso tengamos que abandonar la cláusula $C(x)$, será mejor que adoptemos la versión débil del supuesto existencial, escribiendo consiguientemente:

$$\Diamond (\exists x) C(x) \rightarrow [C(y) \rightarrow L(y)] \quad [6.6]$$

fórmula en la cual ' $\Diamond$ ', que se lee 'rombo', significa "es posible que".

Las fórmulas del tipo [6.6] pueden llamarse condicionales satisfactibles. A pesar de serlo, también pueden resultar vacíos: la condición previa puede no resultar exactamente satisfecha, sino sólo aproximadamente. Por ejemplo, la ley de conservación de la energía no vale más que para sistemas cerrados (aislados), pero sólo el universo entero es un sistema perfectamente cerrado; cada una de sus partes está abierta en algún respecto. A la vista de esto, es claro que la presuposición de satisfacción posible del antecedente de una ley tiene que entenderse de un modo cualificado, a saber, así: "Es posible que haya al menos un sistema tal que cumpla o satisfaga *aproximadamente* la condición C ". Pero entonces podría decirse exactamente lo mismo del consecuente L : o sea, tanto los enunciados

legaliformes cuanto sus condiciones previas son satisfactibles aproximadamente. Sin embargo, este enunciado metanomológico se refiere a la verdad de los enunciados legaliformes, y viene por tanto después de su contrastación, la cual tiene a su vez lugar después de la formulación de aquellos enunciados. Por tanto, no afecta a nuestra discusión de la forma de los enunciados legaliformes. En resolución: podemos tomar [6.6] como forma típica de los enunciados legaliformes universales, entendiendo que, dicho estrictamente, esa forma refiere a un modelo más o menos idealizado de la porción de realidad que pretende recoger: la ley se aplica exactamente al modelo, y más o menos aproximadamente al correlato real del modelo. Volveremos a hablar de esto en la sección 6.5.

Para continuar nuestro estudio del contenido de los enunciados legaliformes nos fijaremos en un ejemplo concreto, la ley de Galileo [6.3]. Hemos visto que un cuerpo en caída libre puede caracterizarse inequívocamente por un par de números, a saber, su posición inicial y su velocidad inicial: este par de números funciona como nombre del cuerpo. La posibilidad de especificar circunstancias especiales como éstas es característico de las leyes de bajo nivel, como la de Galileo, pero se pierde cuando se llega a leyes de nivel más alto, como el principio general de la dinámica que implica o acarrea la ley de Galileo. Si se especializa para la clase de los cuerpos en caída libre, este principio afirma que su aceleración –la cual puede simbolizarse por ‘ D^2s ’– es una constante llamada g . (A diferencia de los parámetros que denotan la posición inicial y la velocidad inicial, g no es un parámetro individual, sino que especifica una clase de movimientos, a saber, el conjunto de los movimientos uniformemente acelerados. La caída libre en un campo gravitatorio no es más que una subclase de esa clase, y en este caso g se llama la aceleración de la gravedad.) Simbólicamente, el enunciado de alto nivel correspondiente a la ley de Galileo es

$$D^2s(t) = g \quad [6.7]$$

(‘ $D^2s(t)$ ’, que también se escribe ‘ d^2s/dt^2 ’, es la expresión abreviada de la derivada segunda de la distancia respecto del tiempo [6.7] es una ecuación diferencial. La mayoría de los enunciados legaliformes de las llamadas ciencias exactas tienen la forma de ecuaciones diferenciales; pero los enunciados más fuertes son ecuaciones integrales.) No se encuentra en [6.7] ninguna referencia a *circunstancias especiales*, como la posición inicial y la velocidad inicial. En general, los enunciados legaliformes de nivel alto no contienen referencias a características individuales específicas, ni tampoco a circunstancias especiales. Para conseguir que esos enunciados legaliformes de alto rango tengan contacto con datos relativos a los rasgos individuales de la realidad hay que someterlos a una profunda transformación formal, como la que lleva de [6.7] a [6.3], y hay que complementarlos con alguna información empírica, como, por ejemplo, los valores particulares de los parámetros g , v_0 y s_0 , en el lugar concreto en que se están realizando las mediciones. Sólo un enunciado legaliforme de nivel bajo, como [6.3], puede absorber toda la información específica que es necesaria para compararlo con circunstancias especiales: los enunciados legaliformes de alto nivel quedan en cambio lejos de la experiencia. (En particular, las ecuaciones diferenciales tienen que integrarse antes de poder someterse a contrastación. El proceso de integración es precisamente el que introduce parámetros

empíricamente determinables, como v_0 y s_0 .) Ésta es una de las razones por las cuales las fórmulas legaliformes de nivel alto no pueden obtenerse por “abstracción” a partir de los datos empíricos, sino que tienen que ser fruto de la actividad hipotetizadora. La relación leyes-datos tiene un solo sentido: partiendo de enunciados legaliformes podemos deducir enunciados singulares en los cuales insertar información empírica; pero no hay truco ni máquina que pueda convertir un montón de datos, por precisos, numerosos y relevantes que sean, en un enunciado de nivel alto. Lo único que puede inferirse de datos son enunciados del nivel más bajo, o sea, generalizaciones empíricas; y ni siquiera eso de un modo sin ambigüedades, sino de tal forma que esos enunciados quedarán aislados mientras no se invente algún principio unificador más fuerte (cf. sec. 6.3).

Vamos a explorar ahora otros aspectos semánticos del problema de las leyes.

Problemas

6.4.1. Simbolizar el enunciado legaliforme cualitativo “Cualquier objeto atrae a cualquier otro objeto.” Obsérvese que la versión relativista de la ley de gravitación muestra que la interacción gravitatoria no es externa a los cuerpos afectados, sino que depende de su estado de tensión, el cual en algunos casos produce repulsión. Esta observación puede recordar que toda fórmula legaliforme tiene un dominio de validez limitado. Intentar insertar esta limitación en el antecedente de aquella ley.

6.4.2. Paquito aprende en la escuela que “El calor dilata y el frío contrae”, en vista de lo cual utiliza ese enunciado que le han enseñado para explicar a Luisito por qué los días son más largos en verano que en invierno. ¿A quién hay que acusar: a Paquito, o al maestro? ¿Y por qué?

6.4.3. ¿En qué sentido es universal la ley de Lavoisier: “En un sistema aislado, la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos de la reacción”?

6.4.4. La ley de Boyle sobre los gases ideales suele escribirse así: “ $pV = \text{cons.}$ ” A menos que se suministre el contexto, no se trata de una ley física, sino de una fórmula matemática —y eso siempre que presupongamos que ‘ p ’ y ‘ V ’ son variables numéricas. Formular la ley de una forma completa, incluyendo una referencia a su universalidad espacio-temporal, lo cual, dicho sea de paso, es, en el caso de esta ley, una suposición falsa.

6.4.5. Simbolizar los siguientes esquemas de leyes estocásticas: (i) “El valor B medio de los A es b ”. (ii) “La dispersión de los valores B de A alrededor del valor medio de B es σ ”. (iii) “La distribución de los valores B en A es D ”. Hallar ilustraciones de esas formas.

6.4.6. Los lógicos modernos sostienen que la existencia no es una propiedad, y que el concepto de existencia (de cualquier tipo) es formalizado adecuadamente por el cuantificador “existencial”. Cf. W. V. Quine, *Ontological Relativity and Other Essays*, Nueva York, Columbia University Press, 1969. Véase una crítica en M. Bunge, *Epistemología*, México, Siglo XXI, 1997, cap. 3.

6.4.7. Examinar las críticas formuladas por los partidarios de la psicología gestaltista (psicología de la forma) contra la búsqueda de leyes estadísticas y contra la preparación de contrastaciones estadísticas en el terreno de la psicología. Cf., por ejemplo, K. Lewin, “The Conflict Between Aristotelian and Galileian Modes of Thought in Contemporary Psychology”, *Journal of General Psychology*, 5, 141, 1031, y J. G. Taylor, “Experimental Design: A Cloak for Intellectual Sterility”, *British Journal of Psychology*, 49, 106, 1958.

6.4.8. Proponer una clasificación de las leyes científicas desde un punto de vista matemático, o sea, teniendo en cuenta los conceptos matemáticos que se presentan esencialmente en los enunciados legaliformes. Hay que notar que por lo menos el concepto de conjunto aparecerá en todo

enunciado legaliforme, de tal modo que en el fondo, puede decirse, no existen leyes totalmente no-matemáticas.

6.4.9. Trazar un paralelismo entre una ley científica explícitamente formulada en forma matemática y una canción. Examinar, en particular, si en los dos casos el contenido determina la forma, o viceversa.

6.4.10. Las ecuaciones de la propagación del calor y de la propagación de la electricidad son matemáticamente las mismas. ¿Implica eso que las leyes de la electricidad y las leyes del calor sean las mismas? Tomar en cuenta que se trata de un problema general: las mismas ecuaciones diferenciales se presentan, o se espera que se presenten, en todas las ramas de la física.

6.5. FÓRMULAS Y PAUTAS

¿A qué refiere –si es que refiere a algo– el término ‘ley’? Un lexicógrafo cuidadoso podría decirnos que el término ‘ley’ no tiene un uso fijo, sino que se usa en varios sentidos: es un signo ambiguo que designa varios conceptos. El concepto jurídico de ley no nos interesa aquí: lo que nos interesan son las acepciones relevantes para la ciencia pura y la ciencia aplicada. En estos campos ‘ley’ cubre los siguientes conceptos: (i) pauta objetiva; (ii) fórmula (proposición o función proposicional) que intenta representar una pauta objetiva; (iii) fórmula que refiere a una pauta objetiva y a la experiencia; (iv) metaenunciado que refiere a un enunciado legaliforme; y (v) regla basada en un enunciado legaliforme (cf. fig. 6.7). Evitaremos confusiones entre esas varias significaciones adoptando las convenciones siguientes:

Conocer	<i>Fórmula metanomológica</i> (esquema de enunciados legaliformes)	<i>Regla fundamentada</i> (prescripción tecnológica)	Hacer
	<i>Fórmula legaliforme</i> (conocimiento de la ley)	<i>Fórmula nomopragmática</i> (contrastación y uso de la fórmula legaliforme)	
Ser	<i>Ley</i> (pauta objetiva)		

FIGURA 6.7. Significaciones de ‘ley’ en la ciencia.

‘Ley’ (o ‘ley objetiva’, o ‘pauta nómica’) designa un patrón objetivo de una clase de hechos (cosas, acontecimientos, procesos), o sea, cierta relación constante o red de relaciones constantes que se cumplen realmente en la naturaleza, las conozcamos o no. En este sentido de estructura nómica, una ley es un objeto extra-conceptual, como el fluir de un río. Pero, a diferencia del fluir del río, no puede indicarse ostensiblemente sus leyes: no es perceptible. Dicho brevemente, el concepto de ley objetiva carece de sentido empírico, lo que muestra ya que no es un concepto trivial. No podemos presentar un ejemplar de ley objetiva, pero sí podemos usar una descripción determinada, como “La ley referida

por el principio de Arquímedes”. Reconozcamos o no la existencia de leyes objetivas, el hecho es que necesitamos ese concepto, aunque no sea más que para argüir contra la hipótesis filosófica de que hay leyes subyacentes a los enunciados legaliformes.

‘*Fórmula legaliforme*’ (o ‘enunciado nomológico’) designa una proposición o función proposicional que se supone normalmente que describe una ley o una parte de una ley (pauta nómica). Una fórmula legaliforme es un objeto conceptual, a saber, una hipótesis científica que satisface ciertos requisitos de generalidad, corroboración y sistematicidad (cf. sec. 6.6). No hay necesidad de decir que las leyes que hallamos en los textos científicos son en su mayor parte enunciados legaliformes.

‘*Fórmula nomopragmática*’ designa una proposición o función proposicional parecida a una ley y que refiere, al menos parcialmente, a la experiencia, y en particular a experiencia científica. Ejemplo: “Si se deja sin sostén un cuerpo cerca de la superficie de la Tierra, se le verá caer hacia ella”. Este enunciado contiene términos pragmáticos, como ‘dejar’ y ‘ver’. Consiguientemente, se refiere a la vez a una clase de hechos objetivos y a nuestro comercio con ellos. Por decirlo con símbolos groseros, pero sugestivos; Enunciado nomopragmático = Enunciado legaliforme de nivel bajo + Términos pragmáticos.

‘*Fórmula metanomológica*’ designa una ley referente a las fórmulas legaliformes de una determinada clase, y expresa rasgos efectivos o deseables de las fórmulas legaliformes. Ejemplo: “Las fórmulas legaliformes de nivel alto son invariantes respecto del observador”. Las fórmulas metanomológicas se encuentran en la ciencia factual y en la metaciencia; no retratan leyes de la naturaleza ni de la sociedad, sino que tratan de nuestras ideas científicas acerca de esquemas objetivos.

‘*Regla fundamentada*’ designa una regla basada en una o más fórmulas legaliformes y que nos permite conseguir un objetivo predeterminado (cf. sec. 11.2). Ejemplo: “Para evitar que se oxide el hierro, manténgase seco”.

Las leyes objetivas, si se admite su existencia, tienen que situarse en la realidad; las fórmulas legaliformes, las fórmulas nomopragmáticas y las reglas fundamentadas, se situarán en la ciencia pura y aplicada; y las fórmulas metanomológicas se sitúan en parte en la ciencia y en parte en la metaciencia. Planteémonos ahora algunos problemas filosóficos relativos a los anteriores conceptos; las fórmulas metanomológicas se discutirán en 6.7, y las reglas fundamentadas en la sección 11.2.

La mayoría de los investigadores parecen aceptar tácitamente la existencia de leyes objetivas, al menos cuando están inmersos en la investigación misma; pero esto, naturalmente, es un dato relevante para la investigación científica de las creencias filosóficas de los científicos, y, ya sea que nuestra anterior afirmación quede confirmada, ya quede refutada por esa investigación, el resultado no tendrá efecto alguno sobre el valor veritativo de la hipótesis de que la investigación científica presupone esa hipótesis metafísica. La realidad de pautas objetivas es cosa que admitirá toda persona que piense que el objetivo central de la ciencia es el *descubrimiento* de pautas objetivas, descubrimiento que se considera conseguido, parcialmente al menos, cuando ciertas *invenciones* —enunciados legaliformes— superan ciertas contrastaciones. La proposición “Lavoisier descubrió la ley de conservación de la masa” no significa que Lavoisier hiciera una perquisición de una cantera de leyes y se llevara —descubriera— una cosa ya lista llamada ‘la ley de conservación de la masa’. Lo que hizo Lavoisier fue construir un objeto conceptual que no había

existido hasta entonces, a saber, el enunciado legaliforme que reproduce correctamente la correspondiente ley objetiva. Dicho brevemente: las fórmulas se inventan, las leyes se descubren.

Por eso las fórmulas legaliformes pueden caracterizarse como *reconstrucciones conceptuales de leyes objetivas*. (Ésa sería una definición propiamente dicha si “ley objetiva” fuera un concepto primitivo de alguna teoría metacientífica; pero hemos definido tácitamente el concepto “ley objetiva” como correlato de una fórmula legaliforme.) Esas reconstrucciones conceptuales no son meras imágenes o reflejos de leyes objetivas, sino genuinas creaciones de la mente humana, creaciones, desde luego, conseguidas con la ayuda de material conceptual preexistente y que aspiran a reproducir fielmente esquemas objetivos. Desde este punto de vista una fórmula legaliforme no difiere de una proposición empírica singular como “El Sol está ahora en el cenit”: tampoco esta proposición se descubre. A veces se descubren hechos; pero los enunciados sobre hechos y, *a fortiori*, los enunciados acerca de la estructura de los hechos, no se descubren, se hacen o producen.

En cierto sentido, la historia de la ciencia factual es la historia del intento de descubrir leyes objetivas de la naturaleza y de la sociedad. En cada campo de investigación los resultados de ese intento constituyen una secuencia temporal de fórmulas legaliformes: $L_1, L_2, \dots, L_n$. Ese movimiento es zigzagueante, pero muestra a largo término una tendencia al perfeccionamiento: cada una de las fórmulas legaliformes propuestas para cubrir una ley objetiva puede no ser, tomada suelta, mejor aproximación que su predecesora, pero el conjunto de la secuencia tiende hacia un límite ideal, desconocido e inalcanzable, de adecuación perfecta al esquema objetivo. (Cf. fig. 6.8). Sería difícil entender por qué sigue adelante ese laborioso proceso de aproximación sucesiva (pero no de perfeccionamiento uniforme) si no se tuviera en cuenta la convicción (metafísica) de que existen leyes.

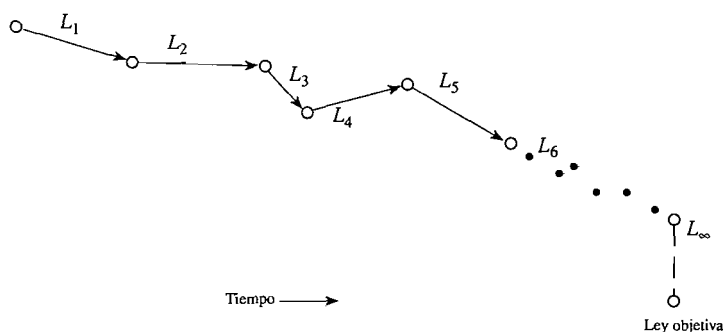


FIGURA 6.8. Representación simbólica de los pasos sucesivos hacia el límite ideal del enunciado legaliforme completamente verdadero, L_∞ . Obsérvese la regresión temporal L_3 , probablemente debida al defecto de una mala filosofía de la ciencia.

Cada una de las aproximaciones sucesivas halladas en la búsqueda de leyes tiene un propio *dominio de validez*. Ejemplo 1: La ley kepleriana de la refracción de la luz, “ $ilr = n$ ”, es válida para ángulos pequeños (cf. 6.2, fig. 6.4). Ejemplo 2: La ley galileana

“La aceleración de la gravedad es constante” es una aproximación de primer orden (orden mínimo) a una ley más compleja, en la cual la aceleración de la gravedad depende de la altura y del radio de la Tierra (cf. problema 6.5.2). Ejemplo 3: “En una amplia población animal, si el apareamiento es al azar, las proporciones genotípicas no varían de una generación a otra (o sea, la población se mantiene genéticamente estable)”. Esta ley (de Hardy-Weinberg) pierde todo interés si no se satisfacen las condiciones indicadas en el antecedente del enunciado (gran población y apareamiento al azar); pero, además, queda falsada por las mutaciones y por la selección natural; o sea, que hablando estrictamente no vale para poblaciones reales sino en primera aproximación.

Los anteriores ejemplos, que podrían multiplicarse indefinidamente, sugieren la conclusión siguiente: Toda fórmula legaliforme tiene un dominio de validez limitado, más allá del cual resulta precisamente falsa. Esa afirmación es una sana fórmula metanomológica, que nos pone en guardia contra la fe dogmática en la verdad indestructible de la última fórmula legaliforme descubierta. Una fórmula recién hallada no es probablemente más que un miembro de una secuencia de hipótesis. La tendencia general de la secuencia es la de un perfeccionamiento incesante, pero la disminución del error no lo suprime enteramente. Hasta el momento, nuestra fórmula metanomológica sobre el dominio de validez de los enunciados legaliformes no tiene más que un apoyo empírico; en el capítulo 8 se le dará una justificación teórica sobre la base de un examen del modo como se construyen los sistemas científicos, a saber, concentrándose sobre un puñado de rasgos y descartando los que se consideran variables secundarias.

Una aproximación de primer orden suministra una base para ulteriores exploraciones en búsqueda de aproximaciones de orden superior. Toda discrepancia entre una fórmula legaliforme y los hallazgos empíricos correspondientes, si se interpreta a la luz de alguna hipótesis, se convierte en una nueva fuente de información, y es así algo más que mera evidencia desfavorable o negativa. Ejemplo 1: Las desviaciones respecto del movimiento rectilíneo sugieren la presencia de fuerzas. Ejemplo 2: Las desviaciones respecto de la ley de los gases ideales son ya en sí mismas como una alusión a la dimensión y a las interacciones de las moléculas, porque esa ley supone que las moléculas son puntuales y no están en interacción. Ejemplo 3: Si una amplia población animal con apareamientos al azar no se mantiene genéticamente estable, la ley de Hardy-Weinberg nos sugerirá que busquemos factores que ella misma no tiene en cuenta, como son las mutaciones y la selección natural. En resolución: la búsqueda de leyes es como un proceso de crecimiento en el cual los nuevos estados de desarrollo se producen a partir de los anteriores y aumentan la capacidad de enfrentarse con nuevos problemas.

La hipótesis de que hay leyes objetivas que intentamos recoger en nuestros enunciados legaliformes resuelve cierta cantidad de dificultades y, a su vez, plantea algunos problemas difíciles. Uno de ellos es el de si toda fórmula legaliforme corresponde a una ley objetiva. La respuesta más verosímil es que no, por las siguientes razones: (i) Para someter a contrastación una ley de nivel alto tenemos que empezar por derivar de ella conclusiones que estén lo suficientemente cerca de la experiencia y esto requiere muchas veces la ayuda de otros enunciados de nivel alto de alguna teoría; (ii) a menudo conseguimos comprimir varias fórmulas legaliformes en un solo axioma muy fuerte; además, los postulados de toda teoría cuantitativa pueden condensarse de ese modo (a saber, en un solo

principio variacional). Todo lo que entonces podemos conjeturar es que todo sistema de fórmulas legaliformes, o sea, toda *teoría*, es una reconstrucción conceptual de un número desconocido de esquemas objetivos interrelatados.

La relación hecho-fórmula no es nada sencilla. No es posible señalar un hecho perceptible (un fenómeno), diciendo al mismo tiempo, por ejemplo: ‘Miren ustedes los hechos cubiertos por el enunciado legaliforme que acabo de escribir en la pizarra’. Y no podemos hacer eso porque todos los hechos conocidos son muy complicados: se caracterizan por un número de variables grande y desconocido, mientras que las fórmulas legaliformes correlatan exclusivamente un puñado de variables (cf. sec. 6.2). Las fórmulas legaliformes, en efecto, no expresan “relaciones uniformes entre hechos” (como se dice tradicionalmente), sino relaciones invariantes entre *aspectos seleccionados* de los hechos, y esos aspectos no suelen estar en la superficie.

Los hechos son tan complejos que, si deseamos hallar sus leyes, tenemos que empezar por analizarlos y hacer abstracción de la mayoría de sus propiedades, para no fijarnos más que en unas pocas cada vez. Según eso, un solo y mismo hecho exigirá varias fórmulas legaliformes para su explicación. Además, es muy probable que ni un solo hecho real quede nunca totalmente explicado por un conjunto de fórmulas legaliformes, por grande que sea éste. Una fórmula legaliforme no puede dar razón más que de *un aspecto de un modelo ideal* de un sistema real. Además, podemos decir que toda fórmula legaliforme propiamente dicha, a diferencia de las generalizaciones empíricas, tiene dos correlatos: un *correlato inmediato*, que es la representación esquemática (el modelo ideal) del sistema real, y un *correlato mediato*, que es el sistema real mismo (cf. fig. 6.9). Por ejemplo, la física clásica de los cuerpos sólidos es compatible con tres modelos de sólido al menos: la sustancia continua, el sistema de puntos de masa inextensos y el sistema de átomos extensos. Las ecuaciones correspondientes, que tratan los sólidos como totalidades, se aplican con la misma exactitud a esos tres modelos idealizados, y con inexactitud a los sólidos reales. Volveremos a tratar esta cuestión en el capítulo 8.

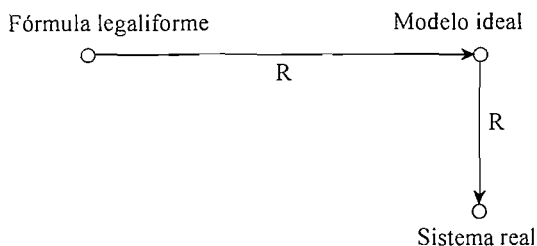


FIGURA 6.9. Los correlatos de una fórmula legaliforme: el inmediato y el mediato.

Sólo las leyes de nivel bajo, junto con elementos de información, pueden describir aspectos seleccionados de hechos perceptibles (fenómenos). Así, el aspecto cinemático del movimiento de una bala en el aire quedará descrito, en primera aproximación, por la ley galileana de caída libre, que es ella misma una consecuencia deductiva de las leyes newtonianas del movimiento; se obtendrá una aproximación mejor si la resistencia del

aire se representa en el enunciado legaliforme de nivel superior y si se resuelve la formulación de este último. Pero incluso entonces lo único que cubrirán estas leyes será el aspecto cinemático, mientras seguirán despreciando los demás aspectos del movimiento del proyectil, como son su calentamiento, su pérdida de gases, la producción de ondas sonoras, etcétera.

*Las leyes de nivel bajo que describen fenómenos perceptibles contienen parámetros que, cuando se especifican, permiten la *individualización* del objeto de que se trate; en el caso de la caída libre esas constantes eran la posición inicial y la velocidad inicial (cf. sec. 6.4). Ahora bien: los valores de muchas de las constantes que caracterizan un objeto individual, aunque *no dependen* del observador, son *relativas* a las condiciones de observación. Así, por ejemplo, las posiciones y velocidades iniciales tienen que registrarse por relación a un determinado marco de referencia. Y como hay infinitos marcos de referencia posibles, hay también infinitos valores diferentes para la mayoría de las constantes que intervienen en las leyes de bajo nivel. Algunas de esas cantidades, como el número de partículas, la presión y la carga eléctrica, son *invariantes* cuando cambian los marcos de referencia; pero la mayoría de las demás cantidades cambia con esas transformaciones. En resolución: las leyes de nivel bajo por medio de las cuales se describen los fenómenos son relativas a los sistemas de referencia.

La relatividad de las leyes de nivel bajo no debe interpretarse en sentido subjetivista: ‘*x* es relativa al sistema de referencia del observador *y*’ no significa necesariamente “*x* depende del observador *y*”. Las fórmulas, infinitamente varias, recíprocamente vinculadas por cambios en el sistema de referencia son todas equivalentes, al menos en lo pequeño; dicho de otro modo: todos los sistemas de coordenadas son localmente equivalentes, ninguno está físicamente privilegiado, ni siquiera el elegido por conveniencias de observación o de cálculo. Entre los infinitos sistemas de referencia posibles suelen elegirse dos, preferidos a todos los demás: el marco propio del objeto, o sea, aquel en el que se mueve, y el del laboratorio, o sea, el marco respecto del cual se hacen las observaciones y las mediciones. Por de pronto, un objeto físico se estudia del mejor modo en su propio marco de referencia: en relación con ese marco único se calculan los valores de propiedades como la masa y la duración. Pero la *contrastación* empírica de cualquier consideración teórica de este tipo exige una relación con el marco de referencia del laboratorio. La elección del marco propio para fines teóricos presupone la hipótesis ontológica de la (posible) existencia autónoma del objeto. Y la elección del marco del laboratorio para fines de contrastación presupone la hipótesis epistemológica de que los enunciados acerca de objetos que existen autónomamente no son sometibles a contrastación más que si se transforman en enunciados sobre las relaciones objeto-laboratorio.

La equivalencia local de todos los sistemas de referencia es un postulado de las teorías relativistas. Si se satisface, tiene el siguiente importante resultado: *las leyes de nivel alto son válidas en cualquier sistema de referencia* (sistema de coordenadas de espacio y de tiempo). Dicho de otro modo: las leyes, de nivel alto, a diferencia de las de nivel bajo, son invariantes respecto de los cambios en la elección del sistema de referencia; en particular, son *independientes del observador*. En resolución: mientras que las leyes de nivel bajo son relativas al marco de referencia, las leyes de nivel alto son *absolutas*. Las leyes de nivel alto son pues el reflejo más fidedigno de las leyes objetivas.

Las anteriores observaciones pueden formularse de nuevo del siguiente modo. Hagamos que ' $L = 0$ ' simbolice una ley de nivel alto relativa a ciertas propiedades. L puede descomponerse en dos factores, A , y S , del siguiente modo: $L = AS$, siendo A cierto operador que se aplica a la solución, S , de la ecuación que constituye el enunciado legaliforme. Respecto de un marco de referencia dado, R , tenemos pues $L = AS = 0$. Respecto de otro marco de referencia diferente, R^* , A se convertirá en A^* , y S en S^* , pero de tal modo que el cambio de A quedará exactamente compensado por el de S , con lo que la ley de nivel alto L será idéntica a su transformación L^* o sea: $L^* = A^* S^* = 0$. La estructura de la ley de nivel alto (el modo como se interrelacionan sus elementos) no cambia porque se cambie el marco de referencia, o, si se prefiere decirlo así, porque se haga nueva elección de las condiciones de observación. Pero su solución sí que cambiará, y, con ella, la descripción de los fenómenos, que se realiza sobre la base de esas soluciones no-invariantes. Dicho sea de paso, el cálculo tensorial es un instrumento matemático natural para establecer ecuaciones básicas invariantes y cantidades invariantes, como los productos escalares.*

Supongamos ahora una ley dada de alto nivel, L , que describe cierto aspecto de una clase de fenómenos. Dado un determinado hecho F de esa clase, habrá una *clase potencialmente infinita de fenómenos*, ϕ , que correspondan a ese solo hecho, puesto que éste puede contemplarse en principio desde infinitos puntos de vista, o sea, puede observarse y describirse por operadores vinculados a infinitos marcos de referencia (cf. figura 6.10).

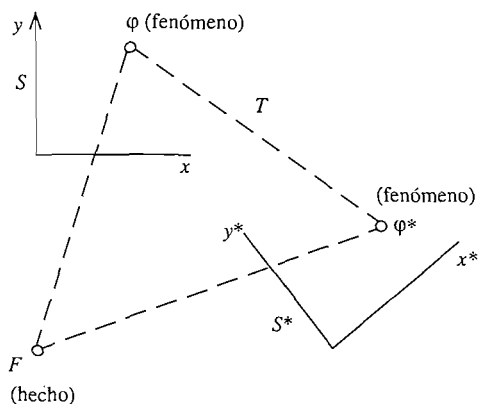


FIGURA 6.10. Un solo hecho, F ; se ve y se describe como fenómeno ϕ respecto del marco de referencia R , y como otro fenómeno diferente, ϕ^* , respecto del sistema de referencia diferente R^* . Por lo que hace a la transformación T que relaciona ϕ y ϕ^* , cf. 6.7.

La relatividad de las leyes de nivel bajo corresponde a la infinidad potencial del número de fenómenos, mientras que el carácter absoluto de las leyes de nivel alto corresponde a la unicidad del hecho objetivo. Esta circunstancia basta para destruir el fenomenismo o fenomenalismo.

Como la ciencia aspira a la objetividad, tiene que aspirar al mismo tiempo a leyes de nivel alto, o sea, a fórmulas legaliformes independientes de la apariencia y de las circunstancias. La introducción de conceptos no-observacionales y de enunciados legaliformes

diafenoménicos no es, pues, sólo un expediente impuesto por la inobservabilidad de la mayor parte de la realidad, sino también un componente de la búsqueda de objetividad. Sólo para aplicar o contrastar las fórmulas legaliformes tenemos que bajar (deductivamente) de ellas para poder especificar las circunstancias en las cuales tiene lugar el uso o la contrastación.

En cuanto que se introducen datos individuales en un enunciado, se introduce también en él la experiencia, y se produce una *fórmula nomopragmática*. Consideremos, por ejemplo, el siguiente enunciado, de nivel bajo, de la ley de caída libre de los graves, esto es, de " $s(t) = 1/2gt^2 + v_0t + s_0$ ". Para someterlo a contrastación o para utilizarlo tenemos que establecer un cierto marco de referencia que incluya un origen temporal convencional y otro origen posicional también convencional; registraremos los resultados de nuestras mediciones y de nuestras predicciones de acuerdo con esos ceros convencionales. Supongamos una medición dada, con un 0,1 por ciento de error, y que da las cifras siguientes: $g = (9,80 \pm 0,01)$ m/seg; $v_0 = (0 \pm 0,001)$ m/seg; y $s_0 = (1 \pm 0,001)$ m. Introduciendo estos datos en la fórmula legaliforme de bajo nivel, podemos hacer la siguiente predicción singular relativa a la posición que alcanzará el cuerpo al cabo de 2 segundos: " $s(2) = (20,600 \pm 0,023)$ m". Una versión de ese resultado en lenguaje ordinario puede ser más o menos la siguiente: "Dos segundos después de dejar libre al cuerpo en la posición 1 respecto de nuestro sistema de referencia, el cuerpo alcanza la posición 20,6 con un error de más o menos 23 mm". Este experimento se presenta con la pretensión de ser verdadero respecto de un hecho objetivo y respecto de un hecho experimentado.

En suma: igual que distinguimos entre una proposición factual y el hecho al que refiere, así también distinguimos entre las fórmulas llamadas 'leyes científicas' y sus correlatos, los cuales son esquemas de la realidad en el caso de las fórmulas nomológicas, esquemas de realidad percibida (fenómenos) en el caso de las fórmulas nomopragmáticas, y esquemas de fórmulas legaliformes en el caso de las fórmulas metanológicas.

Problemas

6.5.1. Discutir la ley de Van der Waals, que se refiere a un gas ideal de moléculas en interacción y de dimensión no despreciable. ¿En qué dominio da de sí esa ley el enunciado legaliforme conocido con el nombre de ley de Boyle-Mariotte-Charles? ¿En qué dominio es importante el volumen finito de las moléculas? ¿Y en qué dominio se hacen "sentir" las fuerzas intermoleculares? Cf. J. M. H. Levelt, *American Journal of Physics*, 28, 192, 1960.

6.5.2. Según la teoría elemental de la gravitación, la aceleración de la gravedad, g , a una altura, h , por encima de la superficie de un cuerpo esférico de masa M y radio R es

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2} = \frac{GM}{R^2} \left(1 - 2 \frac{h}{R} + 3 \frac{h^2}{R^2} - \dots \right),$$

fórmula en la cual ' G ' es la constante universal de gravitación y ' $\dots$ ' simboliza la serie infinita, pero convergente, de los términos de la forma general $(-1)^n (n+1) (h/R)^n$. Precisar las aproximaciones de primer y segundo orden y averiguar si la aproximación de primer orden bastaría para estudiar un satélite artificial que vuele a una altura $h = 2R/10$ (que es, aproximadamente, 1 200

km en el caso de nuestro planeta). *Problema en lugar de ése*: Llevar a cabo un análisis análogo de cualquier otra ley conocida, con varios grados de aproximación, como la ley de oscilación de un péndulo ideal para amplitudes cualesquiera.

6.5.3. A falta de fuerzas destructivas y si se suministran sin límites energía y alimentos, cualquier colección de sistemas que se autorreproduzcan crecerán por interés compuesto constante, o sea, según la ley exponencial de Malthus (curva (i) de la figura 6.11). Las poblaciones reales obedecen en la mayoría de los casos a otras leyes de crecimiento; una ley frecuente es la de disminución de la tasa de crecimiento, o curva de interés compuesto decreciente (curva (ii) de la figura 6.11). ¿Qué puede inferirse de la desviación del crecimiento real respecto de la hipótesis del crecimiento ilimitado (curva (i))?

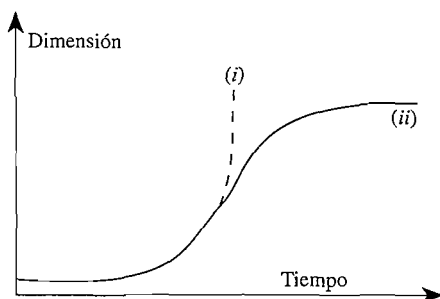


FIGURA 6.11. Crecimiento de sistemas de unidades auto-reproductoras. (i) La ley del crecimiento exponencial; (ii) la ley sigmoide del crecimiento.

6.5.4. Informar acerca de alguno de los textos siguientes: A. N. Whitehead, *Adventures of Ideas*, 1933: Nueva York, Mentor Books, 1955, cap. 7, especialmente pp. 115-123. A. Shimony, "Ontological Examination of Causation", *Review of Metaphysics*, 1, 52, 1947. M. Bunge, *Metascientific Queries*. Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, cap. 4. *Problema en lugar de ése*: Discutir la doctrina fenomenista de Hume y Kant, según la cual las leyes se refieren a las apariencias (fenómenos) y "La ciencia natural no nos revelará nunca la constitución interna de las cosas" (Kant).

6.5.5. Realizar un examen crítico de las siguientes doctrinas sobre la naturaleza de las leyes: (i) *Sobrenaturalismo*: las leyes son normas impuestas a la naturaleza por un poder sobrenatural (Dios, el Logos, el Espíritu del Mundo, etcétera). (ii) *Nominalismo*: el término 'ley de la naturaleza' no tiene denotación (E. Boutroux, G. K. Chesterton, P. W. Bridgman). (iii) *Convencionalismo*: las leyes son esquemas a priori, cuadrículas manejables y sencillas en las cuales podemos figurar la experiencia (I. Kant, H. Poincaré, P. Duhem). (iv) *Empirismo*: las leyes científicas son a) esquemas mentales que resumen nuestra experiencia actual y/o potencial, o bien b) reglas que nos permiten actuar. (v) *Naturalismo*: las leyes son las vías del ser y del devenir; son, simplemente; y las leyes objetivas quedan aproximadamente recogidas por los enunciados legaliformes.

6.5.6. Comentar el siguiente texto de la obra de G. Orwell, 1984, Nueva York, Signet Books, 1950, p. 201, párrafo en el cual el policía intelectual expone la filosofía del Gran Hermano: "Controlamos la materia porque controlamos la mente. La realidad está dentro del cráneo. Aprenderá usted gradualmente. Winston. No hay nada que no podamos hacer. La invisibilidad, la levitación: cualquier cosa. Podría flotar por encima de este suelo, como una burbuja de jabón, si deseara hacerlo. No lo deseo porque no lo desea el Partido. Tiene usted que liberarse de esas ideas propias del siglo XIX acerca de las leyes de la naturaleza. Las leyes de la naturaleza las hacemos nosotros."

6.5.7. Argumentar en favor o en contra de cada una de las tesis siguientes: (i) Las leyes dan

forma a los acontecimientos. (ii) Los acontecimientos dan forma a las leyes. (iii) Las leyes son la forma de los acontecimientos. *Problema en lugar de ése*: Examinar las siguientes dilucidaciones de las frases ‘es físicamente necesario que’ y ‘es físicamente posible que’: (i) “Es físicamente posible que t ” equivale a “ t es deducible de un conjunto de leyes y datos”. (Dificultad: ¿qué pasa con las leyes causales?) (ii) “Es físicamente necesario que t ” equivale a “ t es deducible de un conjunto de leyes y datos”. (Dificultad: ¿y qué pasa entonces con las leyes estocásticas?)

6.5.8. Comentar la doctrina de que las leyes científicas son generalizaciones de observaciones. Para encontrar exposiciones típicas de ese punto de vista consúltense: (i) C. S. Peirce, “The Laws of Nature and Hume’s Argument Against Miracles”, en P. P. Wiener (ed.), *Values in a Universe of Chance: Selected Writings of C. S. Peirce*, Nueva York, Doubleday Anchor Books, 1958: toda ley científica “es una generalización de una colección de resultados de observaciones” (p. 289), y “de tal naturaleza que de ella puede inferirse una serie sin fin de profecías o predicciones respecto de otras observaciones que no se encuentran entre las que basan la ley” (p. 290). (ii) H. Reichenbach, *Modern Philosophy of Science*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1959: “Una ley no es una descripción de lo observado, sino de lo observable” (p. 121). *Problema en lugar de ése*: Localizar los requisitos de invariancia impuestos a las leyes básicas en el tradicional sistema de problemas reposo-cambio.

6.5.9. La siguiente tabla expone un conjunto de resultados de observaciones de dos magnitudes. x e y , en instantes sucesivos. Como puede comprobarse fácilmente, la media de cada secuencia es cero. Esto da pie a las siguientes generalizaciones provisionales: “El valor medio de $x = 0$ ”

x	y
1	-8
-2	-2
5	9
3	1
-7	0

y “El valor medio de $y = 0$ ”. A partir de eso inferimos provisionalmente que, aunque las dos variables tienen en general valores diferentes en un instante dado, y, además, no están correlatadas (como puede observarse), sin embargo “obedecen” a la misma *ley de promedios*. Obsérvese que al construir nuestras generalizaciones estadísticas hemos comprimido datos. En general, al construir promedios eliminamos información, y de tal modo que esa información no puede recuperarse por el mero análisis de la generalización estadística construida. ¿Es este procedimiento coherente con la doctrina de que las leyes científicas son generalizaciones fieles de observaciones? *Problema en lugar de ése*: Cuando uno huye del ruido de los *junk-boxes* por el procedimiento de tomar un avión supersónico, ¿viola las leyes básicas de la propagación del sonido?

6.5.10. Todo enunciado consta de elementos convencionales, a saber, de símbolos. En particular, los enunciados legaliformes contienen símbolos especiales, como los matemáticos, que pueden escogerse arbitrariamente, dentro de ciertos límites. ¿Prueba esto que los conceptos correspondientes se eligen también de modo arbitrario? ¿Y prueba que los enunciados legaliformes no son más que convenciones cómodas? Si lo fueran, ¿qué interés tendría someterlos a contrastación e intentar perfeccionarlos? *Problema en lugar de ése*: Examinar la difundida doctrina según la cual mientras se suponía que las leyes de la física clásica reflejaban un mundo de existencia independiente, las de la teoría de la relatividad y las de la teoría de los *quanta* describen el mundo en cuanto visto por observadores actuales o posibles.

6.6. REQUISITOS

“Los gorrones son muy movedizos” es una ley general verdadera, propia del conocimiento ordinario, pero no se considera una ley científica porque no sabemos la razón por la cual los gorrones son tan agitados: la etología de los pájaros no ha progresado hasta el punto de saber absorber esa ley de conocimiento común en una red de leyes científicas. El conocimiento común contiene un bloque de *generalizaciones empíricas* de esa clase, y todos organizamos una gran parte de nuestra vida cotidiana de acuerdo con ellas. Vale la pena recordar las siguientes características de esas leyes propias del sentido común: (i) se refieren a acontecimientos de la vida cotidiana; (ii) no presuponen ningún conocimiento especializado; (iii) no se someten a contrastaciones metódicas; (iv) son muy frecuentemente inducciones, o sea, resúmenes de hechos observados o inferidos; y (v) son aisladas, sueltas, no sistemáticas.

También la ciencia factual contiene generalizaciones empíricas. Pero éstas difieren de las leyes del conocimiento ordinario en los aspectos siguientes: rebasan en alguna medida los acontecimientos de la vida cotidiana, se establecen con la ayuda de conocimiento especializado y se someten a contrastación empírica. Pero, al igual que las del conocimiento común, las generalizaciones empíricas científicas son también conocimiento *aislado*, no sistemático, y, la mayor parte de las veces, son generalizaciones de casos observados o inferidos. Ejemplo 1: “La mayoría de los intelectuales son progresistas”. Seguramente un día la psicología social podrá explicar esa generalización que por ahora se explica con consideraciones caseras, por así decirlo, como “Los intelectuales son progresistas porque necesitan libertad para realizar su trabajo”, “Los intelectuales son progresistas porque tienden a resolver todas las pugnas mediante la razón”, etc. Una explicación así puede perfectamente ser verdadera, pero no apela a hipótesis sistémicas y, por tanto, no es científica. Ejemplo 2: “Las distancias medias de los varios planetas al Sol, expresadas en la unidad adecuada, satisfacen la función $d(n) = 4 + 3.2^n$ ”, fórmula en la cual ‘ n ’ representa el orden”. Esta “ley” de Bode es una conjetura falsa que quedó efectivamente falsada con el descubrimiento de Neptuno y Plutón. A pesar de ello, da un valor aproximado incluso para la distancia entre Neptuno y el Sol —a saber, 388, en vez del número obtenido en la medición, que es 300— y Adams usó ese valor en los cálculos que llevaron al descubrimiento de Neptuno. Por tanto podría haber algo en el fondo de esta “ley” parcialmente verdadera —y hoy abandonada—, y sería interesante dar razón de sus aciertos igual que de sus excepciones. Ejemplo 3: “Los núcleos atómicos de número mágico son particularmente estables”. Los números “mágicos” (de protones o de neutrones) son 2, 8, 20, 50, 82 y 126; estos números se averiguaron empíricamente, en la medida en que puede llamarse empírica la investigación nuclear. Pero el hallazgo estimuló, y hasta sugirió en parte, la construcción de un modelo del núcleo, tarea cuya finalidad es absorber la regularidad de los números “mágicos”, o sea, obtenerla como una ley derivada de enunciados de más alto nivel.

Tanto las leyes del conocimiento común cuanto las generalizaciones empíricas de la ciencia son, pues, conocimientos aislados, y muy frecuentemente inducciones; pero en la ciencia se realiza un esfuerzo para incorporar todo elemento a un sistema. ¿Por qué deseamos teorizar o sistematizar las generalizaciones empíricas? En primer lugar, porque

queremos *fundamentarlas* (cf. sec. 5.5), y una manera de hacerlo consiste en derivarlas de suposiciones más fuertes pertenecientes a alguna teoría, lo cual consiste en explicarlas. En segundo lugar, porque deseamos también someter las generalizaciones empíricas a la *contrastación* que consiste en comprobar si son o no coherentes con el cuerpo del conocimiento. En tercer lugar, no deseamos generalidades meramente accidentales, coincidencias a corto plazo o casuales, como las coincidencias entre las manchas solares y las depresiones económicas: suponemos que los acontecimientos sometidos a leyes son en algún sentido *necesarios*, esto es, que no habrían podido ocurrir de otro modo dadas las mismas circunstancias. Ahora bien: sólo una teoría, o, más precisamente, una teoría representacional (no simplemente fenomenológica), puede suministrar un mecanismo capaz de mostrar que los acontecimientos recogidos por nuestro enunciado legaliforme están —o no están— sistemáticamente vinculados. (Sólo la sistematización puede suministrar la necesidad que Hume negó a las leyes.) En cuarto lugar, deseamos poder hacer *predicciones* dignas de confianza por medio de nuestros enunciados legaliformes, lo cual no es posible si éstos no expresan leyes. Estos puntos quedarán más claros con el examen de un par de ejemplos.

Ejemplo de un enunciado que no expresa una ley: series temporales al azar. Los índices de matrimonios, el número de accidentes de aviación y muchas otras variables son variables estadísticas casuales. Dicho de otro modo, si precisamos sus valores durante un cierto número de meses o de años obtenemos series que no muestran ni una tendencia a largo plazo ni una correlación sistemática entre los puntos sucesivos de la secuencia: las variaciones son casuales, en el sentido de que los valores sucesivos de la variable estadística son recíprocamente independientes, o aproximadamente tales (cf. fig. 6.12).

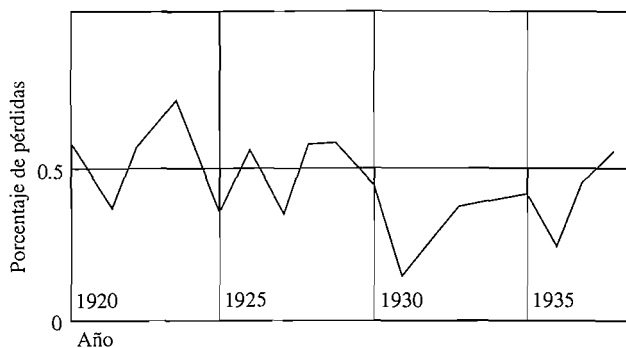


FIGURA 6.12. Naves británicas naufragadas entre 1920 y 1938: serie casual. Según G. U. Yule y M. G. Kendall, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 1950, p. 614.

Es verdad que solemos hallar *alguna* pauta incluso en una serie temporal, pero la pauta se refiere a la serie *en su conjunto*. En realidad, no podemos ni siquiera decir que una serie es casual si no muestra ciertas *regularidades colectivas*. * Una de esas regularidades es la media del número p de altos y bajos de la curva, media que, para una serie casual de n términos, es

$$\bar{p} = \frac{2}{3}(n-2).$$

Otra regularidad colectiva es que la variancia media del número de esos máximos y mínimos es $\overline{\sigma^2(p)} = (16n - 29)/90$. Si no se cumplen aproximadamente esas regularidades, podemos sospechar que la serie no es al azar, y podemos entonces buscar en ella una tendencia sistemática: por tanto, la aplicación de esas dos fórmulas constituye una *contratación del carácter casual*. Eso muestra que dicha regularidad del todo es compatible con el carácter casual de los acontecimientos individuales, o aún más: que este último produce las regularidades del conjunto. Dicho de otro modo: el carácter casual es un tipo de legalidad, no de ausencia de leyes.*

Cada uno de los acontecimientos individuales que constituyen una serie casual puede estar sometido a leyes, pero como en una tal cadena no hay dos acontecimientos individuales que estén realmente vinculados el uno al otro, la serie sí que no constituye una ley. Una serie temporal no es más que un resumen de los efectos de procesos complejos e independientes en los cuales pueden actuar diversas leyes. Al construir una serie temporal *seleccionamos* una clase de acontecimientos y nos preguntamos por su distribución en el tiempo, en vez de estudiar cada proceso individual; por ejemplo, en vez de estudiar el proceso —sometido a leyes— de la gestación de cada caso individual, atendemos a los nacimientos, mutuamente independientes, en el seno de una comunidad. Una tal selección no es arbitraria desde el punto de vista de nuestros intereses, pero es arbitraria respecto de la marcha natural de los acontecimientos: tan arbitraria como la agrupación de estrellas en constelaciones. Por tanto, no tiene por qué sorprendernos el que *un conjunto de acontecimientos arbitrariamente seleccionados no satisfaga ley alguna*; lo que sí debería asombrarnos sería el hallar que los acontecimientos singulares mismos (por ejemplo, los nacimientos) no estuvieran sometidos a ninguna ley.

Pero no todas las series temporales son casuales: algunas expresan los efectos de la acción de determinados mecanismos, como el crecimiento de la población, o el desgaste de máquinas; en estos casos las secuencias mostrarán determinadas *tendencias*, y el teórico intentará explicar éstas descubriendo los mecanismos responsables de las mismas (cf. sección 6.2). Las series temporales no casuales son, pues, resúmenes de datos que, en principio, pueden sustituirse por leyes teoréticas de bajo nivel: son sistematizables, mientras que las series temporales casuales no lo son. Puede pensarse que acaso el fracaso de los historiadores en la búsqueda de leyes históricas se deba a que, por fijar su atención en grandes acontecimientos observables, no consiguen más que series temporales casuales. Y podemos preguntarnos si no descubrirían leyes históricas por el procedimiento de proponer hipotéticamente mecanismos ocultos, como hacen el físico y el biólogo. En última instancia, el que toda serie de acontecimientos por la que nos interesaríamos fuera a resultar sometida a leyes sería tan milagroso como el que cada acontecimiento individual de esa serie careciera de toda ley.

Ejemplo de fórmula legaliforme: “Todos los perros nacen con rabo”. La genética puede sostener esa ley de sentido común y hasta explicar las anomalías constituida por los perrillos sin rabo. La genética puede, efectivamente, fundamentar la generalización explicándola, y, al hacerlo corrige ligeramente la generalización empírica. Si un cachorro nace sin rabo, explicaremos la excepción por medio de una mutación poco probable, especialmente desde que podemos conseguir tales mutaciones en el laboratorio. Por tanto, abandonaremos la generalidad universal en beneficio de la verdad, y reformularemos del modo

siguiente la inicial ley de conocimiento común: “Casi todos los perros nacen con rabo”. En general, tanto la generalización empírica cuanto sus posibles excepciones (posibles según la teoría, aunque aún no se hayan observado nunca) caen bajo la ley teórica. Y esta ley mostrará que, salvo que ocurra un accidente (una mutación), es necesario para cada cachorro el tener rabo.

Con la teorización, la generalización de sentido común “Todos los perros nacen con rabo”, sufre un ligero cambio en cuanto a su alcance (en vez de ‘todos’ se tiene ‘casi todos’) y, principalmente, cambia de estatuto lógico. Ya no es una mera conjunción de proposiciones singulares, como “Fido nació con rabo”, “Leal nació con rabo”, etc., que abarca a todos los perros observados. El hecho de que Fido naciera con rabo *no es independiente* del hecho de que Leal pueda mover el suyo: la posesión común de esa propiedad se atribuye ahora a un genotipo análogo (de perro), el cual queda explicado a su vez por una comunidad de antepasados. A diferencia de las generalizaciones empíricas, que expresan *conjunciones constantes*, los enunciados legaliformes expresan *relaciones necesarias*.

La figura 6.13 esquematiza la transformación de las generalizaciones empíricas en leyes teóricas de nivel bajo que contienen ya conceptos teóricos. Para mayor simplicidad hemos supuesto una teoría que no tiene más que una ley de nivel alto. Las hipótesis de la teoría son: la ley de nivel alto, la ley de nivel bajo que representa la generalización empírica, y todos los enunciados singulares que pueden derivarse de la ley de nivel bajo y

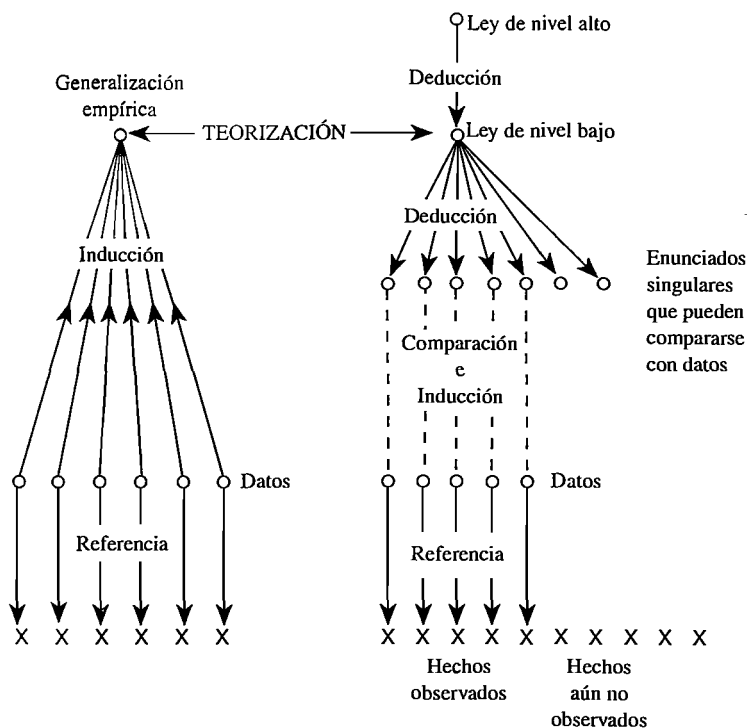


FIGURA 6.13. (i) La generalización empírica como resumen de datos de observación. (ii) La transformación de la generalización empírica en una ley de nivel bajo (un teorema de una teoría).

compararse con la evidencia. Obsérvese, en primer lugar, que la teoría da enunciados singulares, como son las previsiones, que se refieren a hechos posibles no observados todavía; es claro que esos enunciados rebasan la evidencia disponible. En segundo lugar, que en el caso de la generalización empírica intervienen dos relaciones: *referencia* (que relaciona los hechos observables y la experiencia) e *inducción* (que relaciona la evidencia con la generalización). En cambio, en el caso del sistema tenemos tres relaciones: *referencia* (hechos-evidencia), *inferencia no-deductiva* (comparación e inducción, que relacionan la evidencia y la previsión) y *deducción* (de enunciados singulares a partir de la ley de nivel alto).

Una vez teorizado un campo de conocimiento, la única distinción importante entre enunciados legaliformes se refiere a la posición que ocupan en la jerarquía lógica de la teoría, y este lugar queda determinado por la relación de deducibilidad. Tomemos, por ejemplo, la ley de los gases ideales, " $pV = nRT$ ", que relaciona tres variables (p , V y T), un parámetro (n) y una constante universal (R). Esa ley es deducible de dos conjuntos de proposiciones de nivel alto: las leyes de la mecánica analítica y ciertas hipótesis estadísticas relativas al carácter casual (independencia) de las trayectorias de las moléculas. A su vez, la ley es el vértice de un pequeño árbol deductivo de tres ramas, cada una de las cuales suministra una ley especial. Estas leyes especiales, se introdujeron inicialmente como generalizaciones empíricas que cubrían el comportamiento observado de los gases reales (cf. fig. 6.14). Otro ejemplo: con la aparición de las teorías atómicas se hizo posi-

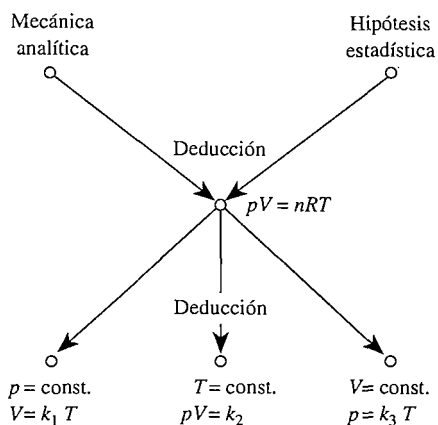


FIGURA 6.14. La ley general de los gases ideales subsume tres leyes especiales, cada una caracterizada por un parámetro.

ble explicar el comportamiento de los varios materiales, o sea, derivar las leyes especiales que caracterizan el comportamiento de las varias sustancias: de este modo los parámetros, antes sin explicar, que se presentan en las generalizaciones empíricas quedan explicados. Dicho brevemente: la teorización reduce la amplia gama de enunciados legaliformes a dos únicas clases de interés lógico: leyes del nivel más alto (axiomas o

postulados) y leyes de nivel bajo (teoremas). Una ulterior distinción entre éstas —por ejemplo, entre leyes de nivel intermedio y leyes de nivel bajo— depende en cuanto a su interés de la complejidad de la teoría que se considere.

Admitiendo, pues, que las generalizaciones empíricas no son, a largo plazo, los desiderata de la investigación, sino más bien material en bruto que plantea el problema de la construcción de teorías, ¿cómo podemos conseguir las leyes teoréticas? Hemos visto antes (6.2) que la búsqueda de hipótesis de nivel alto no es una actividad orientada por reglas. Pero teniendo en cuenta la vigencia de ciertas opiniones puede ser útil mencionar dos procedimientos que *no* garantizan la obtención de leyes teoréticas. Un procedimiento obviamente inadecuado es la *inducción*: dado un conjunto de generalizaciones empíricas de una determinada clase, podemos a veces construir una generalización de nivel superior, o un conjunto de tales generalizaciones, que subsuma todas las anteriores; pero esto no suministrará ninguna ley teorética, por la sencilla razón de que las leyes teoréticas contienen conceptos no-observables introducidos por la teoría y que son en cambio innecesarios para el establecimiento de las generalizaciones empíricas. Mientras que las inducciones empíricas resumen y generalizan lo percibido, las leyes teoréticas se refieren a lo que no es percibido. Además, dejando aparte ese hecho de que los conceptos no-observacionales no pueden obtenerse de la experiencia, resulta que tampoco es posible inferir hipótesis directamente y sólo de los datos empíricos: a partir de un dato (o un conjunto de datos), e , podemos inferir válidamente un número ilimitado de condicionales, $h \rightarrow e$, pero no las hipótesis h mismas, y aún menos la mejor de ellas. Si el lector tiene aún alguna duda acerca de la impotencia de la inducción para conseguir leyes de nivel alto, debe intentar aplicar la inducción a algún ejemplo concreto: por ejemplo, intentar inferir las leyes de nivel alto de la figura 6.14 partiendo de las correspondientes leyes de bajo nivel.

Otro procedimiento inútil para obtener leyes de nivel alto es la matematización de la generalización empírica, por ejemplo, mediante técnicas de interpolación (cf. 6.2). Éste es un buen procedimiento para *condensar* y *generalizar* información empírica, pero ni produce las construcciones de alto nivel necesarias para tener una teoría ni consigue la necesidad que se supone expresan los enunciados legaliformes. En realidad, una serie temporal, como la variación casual del volumen total de ruidos en el Piccadilly Circus, puede trazarse como una función del tiempo, aunque no hay gran conexión —o no hay ninguna— entre los ruidos de la secuencia. Una tal función matemática no puede recogerse en una teoría, no puede por tanto servir para efectuar previsiones. No hace falta decir que las calculadoras se encuentran con las mismas limitaciones. Su única ventaja consiste en que pueden manejar masas ingentes de datos; pero no se hallan leyes por el procedimiento de elaborar meramente los datos; las cosas suceden más bien al revés: sólo a la luz de leyes pueden buscarse datos relevantes. Diremos, en conclusión, que ni la matematización ni la inducción llevan por sí mismas al establecimiento de leyes teoréticas.

Podemos ahora formular explícitamente los requisitos que hemos impuesto tácitamente a una hipótesis para considerarla una ley científica. El primero es la *generalidad auténtica* en algún respecto (o sea, respecto de alguna variable) y con algún alcance (o sea, entre 'la mayoría de' y 'todos'). (El calificativo 'auténtica' debe excluir enunciados pseudo-universales como " $(x)[x = c \rightarrow P(x)]$ ".) El segundo requisito es la *corroboración empírica* en un grado que se considere satisfactorio en el momento en que se declara ley aquella

hipótesis. Esta condición presupone una referencia factual, pero no una significación empírica. No hará falta decir que lo que en una época se considera confirmación empírica suficiente puede resultar luego deficiente, con lo que se anulará la declaración de que la hipótesis es una ley: el nombramiento de ley no es vitalicio. El tercero y último requisito es la *sistematicidad*, la pertenencia a algún sistema científico, ya plenamente desarrollado o aún en gestación. La generalidad auténtica, que caracteriza la amplia clase de los enunciados de tipo legaliforme, y la confirmación empírica, necesaria para atribuir algún grado de verdad, son insuficientes para ascender de categoría las leyes de sentido común y las generalizaciones empíricas: el requisito de sistematicidad impide esos ascensos injustificados. Generalizaciones empíricas muy sólidas, como “Todos los cuerpos son negros” y “El periodo de gestación del hombre es aproximadamente de nueve meses (cuando no inferior)” no se reconocerán como enunciados legaliformes mientras no tengan el apoyo de alguna teoría ya sometida a contrastación.

Todo lo que precede puede condensarse en la siguiente *Definición*: Una hipótesis científica (una fórmula fundada y contrastable) es una fórmula de ley si y sólo si (i) es *general* en algún respecto y con algún alcance; (ii) ha sido empíricamente *confirmada* de modo satisfactorio en algún dominio, y (iii) pertenece a algún *sistema* científico.

Así llegamos a las puertas de la teoría científica; pero antes de llamar a ella estudiaremos las metaleyes y el carácter de ley.

Problemas

6.6.1. Se supone generalmente que los enunciados legaliformes son verdaderos o, por lo menos, susceptibles de demostración como tales. Cf. H. Reichenbach, *Elements of Symbolic Logic*, Nueva York, Macmillan, 1947, p. 368. ¿Debe exigirse la verdad, sin más calificación, a los enunciados sintéticos (no formales)? Por lo que hace al carácter aproximado y, por tanto, provisional de las leyes físicas, cf. P. Duhem, *The Aim and the Structure of Physical Theory*, 1914, Nueva York, Atheneum, 1962, pp. 165ss.

6.6.2. Ilustrar el proceso por el cual una generalización empírica se convirtió en una ley teórica de nivel bajo. Utilizar una buena historia de la ciencia.

6.6.3. Citar un par de generalizaciones empíricas referentes a la personalidad o a la sociedad, e intentar insertarlas en una teoría que se conozca.

6.6.4. Informar acerca del predominio de las generalizaciones empíricas sobre las leyes en la ciencia social contemporánea. Cf. R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, 2a. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, pp. 95-100.

6.6.5. Ejemplificar las siguientes clases de enunciados legaliformes: (i) Relaciones entre variables directamente observables. (ii) Relaciones entre variables directamente observables y variables directamente inobservables. (iii) Relaciones entre variables que no son directamente observables. Cf. H. Feigl, “Existential Hypotheses”, *Philosophy of Science*, 17, 35, 1950.

6.6.6. ¿Tenemos que considerar como un desideratum la subsumción de toda generalización empírica bajo teorías científicas, o bien es posible que las teorías muestren que algunas de nuestras generalizaciones empíricas (e incluso algunas de nuestras proposiciones singulares, afirmadas sobre la base de la experiencia) son de hecho falsas?

6.6.7. “La carga eléctrica de un sistema aislado es constante en el tiempo” y “La cantidad de electricidad de un sistema no depende del marco de referencia” son leyes de las más sólidas. No

sólo están empíricamente verificadas, sino que, además, se derivan de leyes teoréticas de nivel superior. Es posible que haya que corregirlas en el futuro, pero por ahora no se ve ninguna indicación en ese sentido. Antes al contrario: esos enunciados legaliformes son instrumentos de descubrimientos importantes (por ejemplo, del descubrimiento de nuevas partículas “fundamentales”). Sin embargo, para construir una determinada teoría cosmológica (la del estado constante) se ha supuesto que la carga eléctrica nace de la nada. ¿Qué estatuto debe atribuirse a esa conjetura?

6.6.8. Los enunciados universales sintéticos (o sea, no analíticos) pueden asegurar inferencias contractuales o pueden carecer de esa capacidad (cf. sección 5.3.). En el primer caso podemos inferir de “Todos los P son Q ” la conclusión “Si c , que no es un P , fuera un P , entonces c sería un Q ”. En el segundo caso es imposible una inferencia de esa naturaleza. Se ha sostenido que esa potencia contrafactual distingue los enunciados legaliformes de los que no lo son. Cf. M. Bunge, *Method, Model and Matter*, Dordrecht, Reidel, 1973, capítulo 1. Examinar si una ley estadística de la clase discutida en la sección 6.4. (la que se refiere a automóviles fuera de uso) satisface ese requisito. Intentar averiguar si dicha potencia contrafactual no podría más bien utilizarse para caracterizar generalizaciones cuya verdad no sea aleatoria, y precisamente en el caso de que sepamos que no pueden ser verdaderas por puro azar.

6.6.9. Precisar las diferencias entre una generalización estadística derivada de datos empíricos (por ejemplo, un enunciado acerca de la correlación inversa entre la hipnotizabilidad y la inteligencia) y una ley estocástica (por ejemplo, la ley de Maxwell acerca de la distribución de la velocidad). Y averiguar por qué las leyes estadísticas teoréticas no suelen mencionarse en las discusiones filosóficas sobre los enunciados estadísticos.

6.6.10. Siempre que formulamos una relación entre dos o más variables referentes a propiedades de una clase de sistemas estamos presuponiendo que la tal relación vale *coeteris paribus*. Preguntas: 1. ¿Qué significa eso desde el punto de vista de las variables? 2. ¿Es verdad —como suele afirmarse— que la condición *coeteris paribus* (igualdad del resto de las circunstancias) es una limitación característica de las ciencias sociales y que no conocen las ciencias físicas? Recuerdese el concepto de derivada parcial. *Problema en lugar de ése*: Los requisitos que ahora imponemos a los enunciados legaliformes son de formulación reciente. Recordaremos que todavía en 1676 R. Hooke formulaba su ley según la cual “La tensión es proporcional a la fuerza” en la forma *ceiiinossstttuu*, anagrama de *Ut tensio, sic vis*. ¿Es verosímil que nuestros requisitos sean inmutables y para siempre?

6.7. *LEYES DE LEYES

Consideremos una de las varias formulaciones posibles del principio de co-variación: “Las leyes físicas básicas son [o deben ser] invariantes respecto de las transformaciones (generales y continuas) de las coordenadas”. Puede interpretarse este principio diciendo que, como la elección de una representación (por ejemplo, de un sistema de coordenadas) es subjetiva, no debe influir en la formulación de enunciados legaliformes del nivel más alto, por mucho que determine la forma de las soluciones a las anteriores ecuaciones. Observemos, por de pronto, que ese principio es general; se refiere a toda fórmula legaliforme básica concebible; por tanto, él mismo es legaliforme. En segundo lugar, el principio queda efectivamente satisfecho por cierto número de importantes fórmulas de alto nivel; y siempre que se descubre una fórmula básica que no cumple ese principio, se realizan serios esfuerzos para modificarla de modo que lo satisfaga: esto muestra que el principio cum-

ple una función normativa. En tercer lugar, el principio no es en absoluto una proposición suelta: está inserto en todas las teorías relativistas, en las que desempeña un papel de superpostulado. De acuerdo con la definición de fórmula legaliforme que dimos en la sección anterior, el principio de covariación puede, pues, considerarse como una ley científica en sentido pleno. Sin embargo, no se refiere a ningún acontecimiento ni proceso de la realidad: se refiere a fórmulas legaliformes, y enuncia una característica —actual o deseable— de las mismas. Por tanto, no se encuentra al mismo nivel que las fórmulas a las que se refiere: lógicamente y, por tanto, lingüísticamente, el principio pertenece a un nivel más alto que el de sus correlatos. Dicho brevemente, es una *fórmula metanomológica* (cf. sec. 6.5).

Muy frecuentemente queda vago en la literatura científica si una determinada fórmula legaliforme es una proposición de objeto o una metaproposición, esto es, si se refiere a hechos o a otra proposición. Otras veces la misma idea puede expresarse como enunciado de objeto y como metaenunciado. Por ejemplo, el principio de relatividad de la mecánica clásica puede formularse en la forma “Todos los sistemas de inercia son equivalentes” (que es una proposición de objeto) o en la forma “Las leyes newtonianas del movimiento valen en todos los sistemas de inercia” (que es una metaproposición). Además, muchas veces es posible prescindir de una fórmula legaliforme en la base de postulados de una teoría, con la condición de volver a introducirla como superpostulado, es decir, como fórmula metanomológica perteneciente a la metateoría correspondiente. Así, por ejemplo, el principio newtoniano de acción y reacción puede considerarse como un postulado propiamente dicho, pero también se puede prescindir de él si se adopta, tácitamente al menos, la siguiente fórmula metanomológica: “Toda ley referente a la fuerza debe ser tal que la fuerza ejercida por una partícula sobre otra sea igual, con el signo cambiado, a la fuerza que la segunda ejerce sobre la primera.” El ahorro de un postulado por este procedimiento es, desde luego, ilusorio; pero es un hecho histórico que ese modo de proceder fue el adoptado en una cierta formulación de la mecánica newtoniana (la formulación de Hamel).

Las teorías científicas progresadas abundan en enunciados metanomológicos, o sea, en fórmulas que, aunque satisfacen todos los requisitos del carácter de ley, no reproducen a nivel conceptual esquemas reales, sino que *describen* o *prescriben rasgos básicos de las fórmulas legaliformes*. Desgraciadamente, nunca se manifiesta con claridad su especial estatuto lógico, con lo que se producen serias confusiones. Un caso reciente ha sido la contracción del campo de validez de la ley de conservación de la paridad, o invariancia especular. El no indicar claramente *qué* es lo que no permanece invariante en una reflexión (un cambio de las coordenadas x_i por $-x_i$) da lugar a una oscuridad acerca de *dónde* van a encontrarse asimetrías, si en los hechos, en las leyes o en unos y otras. Parece que la ‘no-conservación de la paridad’ se refiere a ciertas fórmulas legaliformes y que la asimetría tiene consecuencias contrastables que pueden compararse con ciertos hechos; dicho de otro modo: ‘no-conservación de la paridad’ es en este caso una frase ambigua, porque se refiere tanto a ciertas leyes cuanto a ciertos conjuntos de hechos. Es muy de notar que nunca se declara explícitamente esa ambigüedad.

Pueden distinguirse dos géneros de enunciados metanomológicos: descriptivos y prescriptivos. (i) Las fórmulas metanomológicas *descriptivas* son enunciados acerca de propiedades efectivas, alcance (dominio de validez) o utilidad de enunciados legaliformes

de objeto. Ejemplo: “Las leyes históricas son estadísticas”. (ii) Las fórmulas metanomológicas *prescriptivas* son enunciados acerca de *deseables* propiedades lógicas, epistemológicas o metodológicas de las fórmulas legaliformes. Ejemplo: “Las probabilidades de transición entre diferentes estados de un sistema deben ser las mismas en todos los marcos de referencia (o deben ser independientes de las condiciones de observación y de la representación)”. Las fórmulas metanomológicas prescriptivas no dicen cuáles son de hecho las características de las fórmulas legaliformes, sino más bien cuáles deberían ser: son programáticas, no se formulan después de haber hallado las fórmulas mismas y en base a su examen, sino antes de empezar su búsqueda: orientan la investigación limitando el conjunto de los enunciados candidatos al carácter de ley y reduciéndolo al conjunto de las fórmulas que satisfacen ciertos requisitos. Es claro que si, por alguna razón, se ha concluido que una cierta característica de un determinado conjunto de fórmulas legaliformes es deseable para todas las fórmulas de un determinado campo científico, entonces el enunciado descriptivo se formulará nuevamente como prescriptivo. Dicho de otro modo: las fórmulas metanomológicas *prescriptivas*, aunque son *programáticas*, no son *a priori*.

Son fórmulas metanomológicas importantes las que formulan la invariancia de un conjunto de leyes respecto de ciertas transformaciones sufridas por las variables independientes. Tomemos la forma

$$L = SA = 0, \quad [6.9]$$

que simboliza de un modo condensado una gran cantidad de fórmulas legaliformes cuantitativas (cf. sec. 6.5). Tanto el operador A cuanto el operando S (la solución) dependerán, en general, de cierto número de variables. Condensaremos todas las variables independientes que aparezcan en [6.9] en el símbolo ‘ v ’:

$$L = A(v)S(v) = 0 \quad [6.10]$$

El símbolo ‘ $A(v)$ ’ no tiene significación independiente si [6.10] es efectivamente un enunciado legaliforme de nivel alto. Los hechos y, particularmente, los hechos de experiencia (fenómenos), pueden describirse con la ayuda de las soluciones $S(v)$. Ahora bien: la solución de un mismo hecho puede hacerse de infinitos modos, según el “punto de vista” que se adopte; cada modo de observación y descripción se caracterizará por un particular marco de referencia y un particular conjunto de escalas para registrar los valores de las variables v . Estas infinitas descripciones posibles se relacionan entre sí a través de una cierta transformación; dicho de otro modo: habrá una transformación que lleve de un conjunto de descripciones a otro (cf. figura 6.10). Llamando $T(v)$ al operador que realice el paso entre las varias descripciones y $S^*(v)$ la descripción transformada, podemos escribir:

$$S^*(v) = T(v)S(v) \quad [6.11]$$

(Se trata de un enunciado generalizado: especificando el valor de v obtenemos transformaciones y descripciones particulares.) El grupo de transformaciones $T(v)$ es infinito, pero

no arbitrario: deseamos multiplicar el número de descripciones posibles de los hechos, pero también *mantener las fórmulas legaliformes invariantes respecto de cambios en el modo de descripción*. De no ser así, no podríamos pretender que nuestras fórmulas legaliformes fueran descripciones adecuadas de leyes objetivas; estarían vinculadas al observador, o sea, a los fenómenos, y no a los hechos objetivos.

Dicho de otro modo: o bien *hallamos* que nuestras fórmulas legaliformes básicas (de alto nivel) cumplen la condición de invariancia bajo ciertos grupos de transformaciones (Galileo, Lorentz, Hamilton, etc.), o bien les *imponemos* la condición de invariancia. En el primer caso tenemos una fórmula metanomológica descriptiva referente a nuestro enunciado legaliforme; en el segundo caso, esa fórmula es prescriptiva. Y en ambos casos habremos restringido el grupo de transformaciones a las que dejan invariantes la fórmula legaliforme dada, con lo que podremos escribir

$$TL \equiv L^* = L = 0 \quad [6.12]$$

(Podemos dar un paso más imponiendo a T la condición de que tenga una inversa T^{-1} definida implícitamente por $T^{-1}T = I$ (identidad). Entonces $TL \equiv TAS = TAT^{-1}TS = A^*S^* = 0$, en la cual $A^* = TAT^{-1}$ es el operador transformado.)

Estas *transformaciones con ley invariante* se presentan en la mecánica (Galileo, Lorentz y transformaciones canónicas), la teoría electromagnética (transformaciones de Lorentz y de escala) y en la teoría de los quanta (transformaciones unitarias). Son esenciales para la teoría física, pero no hace falta atribuirles más significación que la siguiente, que es primariamente gnoseológica: un conjunto dado de enunciados legaliformes de nivel alto explicará no sólo una clase de fenómenos, sino una clase infinita de clases de fenómenos. Dicho de otro modo: un mismo conjunto de fenómenos, referido de modo mediato por una fórmula legaliforme dada, puede describirse de modos infinitos, uno para cada “punto de vista” posible; y todas esas descripciones diferentes serán equivalentes entre ellas mientras estén relacionadas por transformaciones que preserven las leyes. En resolución, lo esencial para la teorización científica no es el fenómeno con su descripción, sino el hecho subyacente con su explicación.

¿Sobre qué base aceptamos o rechazamos fórmulas metanomológicas? Es claro que las fórmulas metanomológicas descriptivas se aceptarán si son verdaderas y se rechazarán si son falsas. Y a las fórmulas metanomológicas prescriptivas se les exigirá fecundidad y cierta consistencia filosófica de percepción nada precisa: los programas no pueden ser ni verdaderos ni falsos. Ahora bien: las fórmulas metanomológicas descriptivas pueden ser de dos clases: *analíticas* y *sintéticas*. El enunciado que afirma que cierto otro enunciado tiene una determinada propiedad formal (por ejemplo, que no cambia al cambiarse t por $-t$) no puede ponerse a prueba más que a base de papel y lápiz; por tanto, todos los enunciados de invariancia o propiedades simétricas de las fórmulas legaliformes son enunciados analíticos. Las fórmulas metanomológicas analíticas se convalidarán exactamente igual que los teoremas matemáticos. Y si se descubre que las fórmulas legaliformes subyacentes, a las que se refiere, son incoherentes con datos empíricos, entonces la correspondiente fórmula metanomológica analítica resultará *irrelevante* (en el caso de que se limite a afirmar algo precisamente sobre la fórmula que se ha visto

falsada), o podrá aún conservarse, en el caso de que su alcance sea toda una clase de fórmulas legaliformes. En ningún caso, empero, la experiencia será juez competente sobre ella, y aún menos capaz de refutarla: la única “experiencia” relevante en este caso es la “experiencia” sobre fórmulas legaliformes.

Las fórmulas metanomológicas de la especie sintética son, por definición, sensibles a la experiencia; y precisamente de dos modos: en primer lugar, si no se satisfacen ciertos principios metanomológicos se obtendrán fórmulas legaliformes de consecuencias llanamente falsas; a la inversa, se rechazará una fórmula metanomológica propuesta si prohíbe alguna fórmula legaliforme verdadera. Otra contrastación posible consiste en ver si una fórmula metanomológica consigue reducir el número de hipótesis concebibles, estrechando así el conjunto de candidatos al título de fórmula legaliforme. Por ejemplo, si el axioma newtoniano de acción y reacción se enuncia como fórmula metanomológica, nos llevará a admitir como posible, entre otras, toda ley de fuerza de la forma “ $F(x, y) = f(x - y)$ ”, en la cual ‘ x ’ e ‘ y ’ designan las posiciones de dos puntos de masa, y ‘ f ’ representa una función impar de la distancia entre ellos; intercambiando x con y obtenemos, en efecto $F(y, x) = f(y - x) = f[-(x - y)] = -f(x - y)$, de acuerdo con el principio. Pero en cambio el principio prohibirá leyes de la fuerza tales como $F(x, y) = f(x - y)$, si f es una función par de la distancia recíproca; y también eliminará candidatos del tipo $F(x, y) = kxy$ y $F(x, y) = kx/y$, con k constante. Y rechazaríamos el principio, o estrecharíamos, al menos, su dominio de validez, caso de encontrar fórmulas legaliformes suficientemente verdaderas que no lo satisficieran. Tal es lo que ocurrió en electrodinámica, teoría en la cual se presentan fórmulas legaliformes que nos obligan a restringir el principio de acción y reacción a fuerzas de acción instantánea.

Las fórmulas metanomológicas prescriptivas no pueden ser verdaderas ni falsas, sino fecundas, estériles, perjudiciales o divertidas. Ejemplo de fórmula metanomológica divertida (y realmente propuesta por filósofos de los que se creen legisladores, en vez de ser estudiosos de las leyes): “En una fórmula legaliforme no puede presentarse ningún predicado que no pueda aparecer en una evidencia empírica (proposición observacional)”. Ejemplo de fórmula perjudicial: “No se aceptará ninguna fórmula legaliforme que sea incompatible con el X-ismo (sustituir por el nombre de cualquier filosofía dogmática)”. Ejemplo de fórmula estéril: “Todas las fórmulas legaliformes deben escribirse en caracteres griegos o góticos”. Ejemplo de fórmula fecunda: “Todas las fórmulas legaliformes que contienen variables intermedias que no denoten propiedades deben ser en última instancia derivadas de fórmulas legaliformes que no contengan más que (o contengan predominantemente) variables que denoten propiedades (o sea, construcciones hipotéticas)”. Las fórmulas metanomológicas, sean fecundas o estériles, pertenecen claramente a la estrategia de la construcción de teorías y tienen que ver con la filosofía de la ciencia.

Algunas fórmulas metanomológicas del género prescriptivo establecen las formas posibles de las fórmulas legaliformes. Éste es el caso de las fórmulas rivales: “Las ecuaciones fundamentales de la física tienen que ser ecuaciones integrales” y “Las ecuaciones fundamentales de la física tienen que ser ecuaciones diferenciales”. Otras fórmulas se refieren a la naturaleza de las variables relacionadas por las fórmulas legaliformes; por ejemplo: “En una fórmula pueden aparecer variables de todo tipo, siempre que se asignen reglas de interpretación de las mismas, de tal modo que la fórmula tenga consecuen-

cias susceptibles de contrastación”. La validez de las propuestas de ese tipo estriba esencialmente en su fecundidad. Por eso su estimación es asunto muy delicado. Fórmulas metanomológicas malas pueden desorientar y hasta paralizar campos enteros de la investigación. Una prueba de esto es el caso del requisito según el cual todas las fórmulas legaliformes tendrían que ser meras generalizaciones de informes de observación: este prejuicio está aún paralizando el desarrollo teórico en biología y en las ciencias del hombre. Esos peligros no pueden evitarse más que considerando las fórmulas metanomológicas como *guías provisionales* que habrá que corregir en cuanto que desvíen o restrinjan el alcance de la investigación. Sea de ello lo que fuere, las fórmulas metanomológicas obran realmente como constricciones puestas a las fórmulas legaliformes posibles: no bastan para obtener enunciados legaliformes, pero funcionan como indicaciones heurísticas, generalmente de tipo negativo.

Digamos, para terminar, que la división de las fórmulas metanomológicas en descriptivas y prescriptivas puede también alterarse. Así, por ejemplo, en vez de decir ‘Las fórmulas legaliformes *deben* tener la propiedad *P*’, podemos decir: ‘Las fórmulas legaliformes *propias* [o correctas, o bien concebidas] *tienen* la propiedad *P*’. La palabra ‘propias’ es aquí a la vez descriptiva y suasoria, como ‘buenos’ en ‘Los niños buenos se van pronto a la cama’. Lo importante desde un punto de vista pragmático es la función realmente efectuada por un enunciado, más que su forma lingüística. Así, en el caso de las fórmulas metanomológicas, algunas han tenido tanto éxito que se las considera como paradigmas dignos de imitación; su mera enunciación tiene fuerza prescriptiva, cualquiera que sea el tenor lógico de la misma, al modo que obra un anuncio de la forma “*x* fuma *y*”. De todos modos, la equivalencia pragmática entre algunas normas y algunos enunciados de mucho prestigio e influencia no debe hacernos olvidar que las normas no se someten a contrastación del mismo modo que las proposiciones: las contrastaciones que tienden a establecer la fecundidad (o la adecuación a ciertos fines) son diferentes de las que buscan el establecimiento de la verdad.

Concluimos. Las fórmulas legaliformes no pueden desarrollarse al azar, sino que están sometidas a leyes de nivel superior. Estas leyes —las fórmulas metanomológicas— están parcialmente incluidas en la teoría científica, y en parte en la metaciencia. Y ahora abandonaremos esta tierra casi virgen para tratar el problema de la presencia objetiva de la ley en la realidad.

Problemas

6.7.1. Examinar las proposiciones siguientes para decidir si son enunciados legaliformes, enunciados de metaleyes o enunciados metanomológicos. (i) “Las leyes de la economía no pueden deducirse de leyes psicológicas sólo”. (ii) “Las leyes de la naturaleza son tales que es imposible construir una máquina de movimiento continuo”.

6.7.2. En todo enunciado legaliforme que presente la divergencia de un vector, puede añadirse al vector dado la ondulación de un vector cualquiera, porque la divergencia de ésta desaparece. ¿Qué tipo de enunciado es éste? ¿Y por qué no se aprovecha esa posibilidad mientras no haya evidencia de que el vector adicional representa una propiedad física: por amor de la simplicidad o por amor de la contrastabilidad?

6.7.3. Caracterizar el enunciado siguiente, comúnmente considerado una ley de la naturaleza: 'En la naturaleza no se realizan más que estados simétricos o antisimétricos', que significa: "Las funciones de onda que se presentan en las ecuaciones de onda que dan razón de las partículas y los campos conocidos son simétricas o antisimétricas".

6.7.4. Examinar el estatuto metodológico de la fórmula metanomológica enunciada en la sección 5.5. "Toda fórmula legaliforme tiene un dominio de validez limitado (o más bien una extensión limitada)." ¿Es esa fórmula confirmable y refutable o sólo confirmable?

6.7.5. Caracterizar los enunciados siguientes: (i) H. Jeffreys, *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge University Press, 1957, p. 36: "El conjunto de todas las formas posibles de ley científica es finito y numerable, y las probabilidades iniciales de esas formas constituyen los términos de una serie convergente de suma 1. Llamaremos a este principio *postulado de simplicidad*". (ii) H. J. Bhabha, "On the Postulational Basis of the Theory of Elementary Particles", *Reviews of Modern Physics*, 21, 451, 1949, p. 453: "... las ecuaciones de movimiento no deben contener más que constantes universales, además de la función de onda ψ , su conjugada compleja y sus derivadas".

6.7.6. Examinar el enunciado "Las leyes son independientes de la localización en el espacio-tiempo". ¿Qué evidencia tenemos para sostenerlo? ¿Sabemos con certeza que es válido o lo suponemos? Decidir si es fecundo y si podría refutarse, y cómo, de ser así.

6.7.7. Examinar el expediente que consiste en "eliminar" un postulado por el procedimiento de reformularlo como enunciado metanomológico e introducirlo en el cuerpo de los presupuestos de la teoría. Cf. G. Hamel, *Theoretische Mechanik*, Berlín, Springer, 1949.

6.7.8. Formular de otro modo las discusiones corrientes sobre variables intervinientes y construcciones hipotéticas en psicología, a saber, como un conflicto entre conjuntos de enunciados metanomológicos de naturaleza prescriptiva. *Problema en lugar de ése*: Dilucidar el concepto de prescripciones o normas en conflicto.

6.7.9. Considerar el siguiente enunciado de W. Heisenberg, cofundador de la teoría de los quanta, en *Daedalus*, 87, 95, 1958: "Las leyes de la naturaleza que formulamos matemáticamente en la teoría de los quanta no tratan ya de las partículas mismas, sino de nuestro conocimiento de las partículas elementales." Según eso, ¿tendremos que decir que las leyes enunciadas por la teoría de los quanta no son leyes físicas, sino leyes epistemológicas? ¿O podremos decir, en vez de eso, que son enunciados metanomológicos? ¿O diremos, por último, que algunas son enunciados legaliformes de objeto y otras enunciados metanomológicos? En cualquier caso: ¿cómo podrán someterse a contrastación? Indicación: no desanimarse. *Problema en lugar de ése*: Las leyes que caracterizan los materiales ideales, como los cuerpos rígidos, tienen que valer en todos los sistemas de coordenadas, puesto que su comportamiento no depende del modo de descripción. Estudiar en qué medida y de qué modo se consigue eso. Cf. C. Truesdell y R. Toupin, "The Classical Field Theories", cap. G, en S. Flügge (ed.), *Encyclopedia of Physics*, Berlín, Springer, 1960, vol. III/1.

6.7.10. Discutir la naturaleza del teorema siguiente: "Las ecuaciones de cambio que son relativísticamente invariantes son invariantes respecto de las inversiones combinadas de la carga, el tiempo y la paridad" (Teorema de Lüders-Pauli). Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, cap. 12.

6.8. LA REGLA DE LA LEY

¿Cómo reaccionaría un geólogo si se le dijera en serio que, según la fábula latina, la montaña ha engendrado un ratón? Seguramente se reiría de ello, porque ese supuesto hecho

no encaja en ninguna ley de la naturaleza, y hasta es incompatible con las leyes naturales conocidas: por ser un científico, se supone que se atiene al principio de que *Todo acontecimiento satisface un conjunto de leyes*. Dicho negativamente: se supone que el geólogo, en su condición de científico, no cree en milagros, esto es, en “violaciones” de las leyes objetivas. Sólo las “leyes” hechas por el hombre (las reglas de la vida social) pueden violarse; los enunciados legaliformes no pueden violarse, sino refutarse.

En la naturaleza —y parcialmente también en la cultura— no todo lo que es lógicamente posible es también físicamente posible y, por tanto, destinado a ocurrir a largo plazo. Las leyes objetivas son precisamente amplias y constantes restricciones puestas a las posibilidades meramente lógicas. Decir que todo puede ocurrir, o que no hay límites para los caprichos de la naturaleza, es afirmar la existencia de acontecimientos no sometidos a leyes, de acontecimientos sin ley. La ciencia no da ninguna base a esa posibilidad: hasta el comportamiento social sin ley se explica científicamente por leyes.

Por otro lado, todo científico sabe o sospecha que las fórmulas legaliformes, a diferencia de los esquemas objetivos, o estructuras objetivas, pueden ser irrelevantes para ciertos hechos o quedar falseados por nueva evidencia o nueva argumentación teórica. En ambos casos —irrelevancia y falsación— algunos hechos quedan fuera del conjunto de las leyes consideradas, pero no fuera de toda ley. Así, por ejemplo, el número de planetas de un sistema solar y sus distancias respecto de su sol son accidentales respecto de sus leyes de movimiento. Pero caerán bajo las leyes de una teoría adecuada del origen de los sistemas solares, o sea, dejarán de ser accidentales en este otro contexto. Análogamente, lo que se discute a propósito de la “violación” de una ley no puede ser más que un fallo o insuficiencia de una hipótesis, una conjetura rectificable que va más allá de la experiencia disponible. Dicho de otro modo: los científicos están dispuestos a tropezar con excepciones a fórmulas legaliformes, pero no a leyes objetivas.

¿Cuál es, entonces, la actitud normal de un científico que se encuentra con un acontecimiento infrecuente? Su primer intento consistirá en insertar ese acontecimiento en una fórmula legaliforme conocida, aunque acaso aislada y de poco uso. Si ese intento fracasa, intentará arbitrar un esquema más amplio que pueda recoger la excepción, la cual dejará entonces de serlo. Si también fracasa en esto, el científico no perderá por ello su confianza en el carácter legal de la realidad, sino más bien la que ha puesto en sus propias conjeturas. Un par de ejemplos aclarará esto.

Supongamos que un botánico descubriera un ejemplar enano de secuoya. Si estuviera razonablemente seguro, gracias a algunas comprobaciones de la edad, de que el árbol es a la vez viejo y poco desarrollado, intentaría explicar ese hecho inesperado y, por lo tanto, llamativo: intentaría, esto es, “legalizarlo”. Para ello intentaría descubrir las propiedades “responsables” de la pequeñez, como la falta de raíces centrales, o una anormal concentración de hormonas; también podría intentar una explicación sobre la base del medio o de mutaciones. En cualquier caso, ese botánico intentaría explicar la excepción a la generalización empírica “Todas las secuoyas son gigantes” mediante el hallazgo de un esquema exacto y amplio que admitiera la posibilidad de secuoyas enanas.

Otro ejemplo: se ha establecido una generalización empírica h_1 y luego se encuentran excepciones a la misma en un determinado dominio. Si el experimentador está razonablemente seguro de que las nuevas observaciones son más exactas que las primeras, sus-

tituirá h_1 , por una nueva hipótesis h_2 , que recoja las excepciones a h_1 . Además, intentará *explicar* por qué los hechos cumplen h_2 en vez de h_1 : o sea, intentará subsumir la nueva generalización empírica bajo una ley teórica que dé razón del mecanismo del proceso, o intentará explicar la desviación respecto de h_1 como debida a la interferencia con otra ley. El esquema es siempre así: la excepción a una fórmula legaliforme dada se entiende como ejemplo o consecuencia de una fórmula más amplia y exacta. Así, por ejemplo, después de que Boyle propusiera su ley de los gases ideales, se averiguó que, dentro de una cierta zona de volúmenes, los cambios de volumen no van acompañados por cambios de la presión interna. (Si las observaciones de Boyle hubieran sido muy exactas no habría descubierto su ley.) Por ello la hipótesis h_1 de Boyle se sustituyó por una hipótesis más exacta, h_2 (cf. fig. 6.15). Pero los físicos no quedaron satisfechos con la mera sustitución de una ley por otra: explicaron el fallo de h_1 en el intervalo V_1, V_2 con la ayuda de la teoría atómica. En V_2 , el sistema deja de ser un gas puro: empiezan a formarse gotas de líquido, como consecuencia de lo cual son menos las moléculas que chocan con las paredes; y en V_1 no queda ya gas, de modo que la parte de la curva que sube rápidamente corresponde a la escasa compresión de los líquidos.

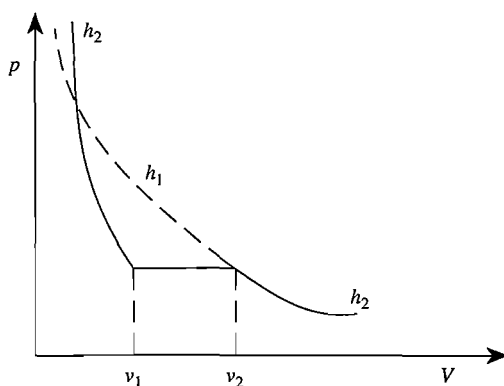


FIGURA 6.15. Compresión isotérmica de un gas real. Las primeras observaciones eran compatibles con h_1 . Luego se descubrieron excepciones (desviaciones respecto de h_1). La nueva hipótesis, h_2 , da razón de esas excepciones, que se interpretan a su vez.

Cuando se confirman, las excepciones no deben disimularse, porque estimulan la búsqueda de nuevas leyes. (El progreso científico, como el progreso moral, no es posible más que sobre la base de reconocer las imperfecciones.) Este modo de tratar las excepciones supone el reconocimiento del principio de que las excepciones no son absolutas, de que toda excepción lo es respecto de un determinado conjunto de fórmulas. Pero esto presupone a su vez el principio ontológico de legalidad: *Todos los hechos son según leyes* (cf. sección 5.9).

Hablando laxamente, eso significa que todo hecho es un ejemplo de una ley. Pero como sólo las propiedades generales tienen ejemplos y las leyes objetivas no son proposiciones, los hechos no pueden ejemplificar leyes. Podríamos decir, en vez de hablar de ese modo laxo, que todo enunciado de hecho es un ejemplo de sustitución de un enunciado

legaliforme. Pero esto sería también falso, por dos razones: en primer lugar, porque constantemente usamos enunciados contralegales; en segundo lugar, porque sólo las consecuencias lógicas de ínfimo nivel de las fórmulas de nivel alto pueden compararse con la evidencia empírica. Por eso parece mejor enunciado el siguiente: *Todo hecho cumple un conjunto de leyes*; o, si se prefiere: *Todo hecho puede o podría explicarse en última instancia por un conjunto de fórmulas legaliformes* (y un conjunto de datos empíricos).

El término ‘hecho’ tiene una perturbadora ambigüedad: ¿debe cubrir tanto los hechos simples cuanto los complejos? ¿Debe aplicarse a hechos sueltos y también a conjuntos de hechos? Y en relación con eso, ¿debemos admitir que todo hecho, por complejo que sea, es según ley, y que cualquier conjunto de hechos que tomemos satisfará algún conjunto de leyes? Es claro que no podemos poner limitaciones a la complejidad de los hechos, porque todo acontecimiento requiere la intervención de dos objetos por lo menos, y todo objeto real tiene cierto número de propiedades. Además, tampoco podemos presumir que los conocemos todos, por lo que tenemos que admitir que la complejidad real es por lo menos tan amplia cuanto nos permite apreciarlo la complejidad de nuestras teorías. Por tanto, debemos suponer que la legalidad, si realmente es aplicable en principio, se aplica necesariamente *a cada hecho particular*, por complejo que sea. No ocurre así con conjuntos *arbitrarios de hechos*, por ejemplo, con los conjuntos de acontecimientos que atraen el interés del historiador. Sería absurdo suponer que cualquier secuencia dada de acontecimientos que solicite nuestra imaginación “obedecerá” *qua* secuencia a una determinada ley o un determinado conjunto de leyes. Podemos perfectamente suponer que cada miembro de esa secuencia será según leyes, pero la secuencia en su totalidad no tiene por qué serlo: será según leyes sólo en la medida en que constituya un *proceso particular*, es decir, una cadena (rígida o estocástica) de acontecimientos tales que cada uno de ellos produzca su sucesor o ejerza alguna influencia sobre él.

En la dilucidación del principio de legalidad hemos introducido de contrabando el concepto de *conjunto de leyes*. Ello se debe a que ningún hecho conocido puede explicarse mediante una fórmula legaliforme: todo hecho conocido “obedece” a cierto número de fórmulas legaliformes. Sólo seleccionando convencionalmente una determinada clase de aspectos, por ejemplo, los mecánicos, podemos hacernos la ilusión de que una sola fórmula legaliforme, o un reducido manojito de ellas, dé completamente cuenta de un hecho real dado. Los conceptos de hecho mecánico, hecho eléctrico, etc., son otras tantas abstracciones en contrapartida real. Todo hecho tiene cierto número de aspectos, uno de los cuales puede ser resueltamente predominante sobre los demás. Por ejemplo, una colisión de escasa energía entre dos cuerpos será en general un hecho casi exclusivamente mecánico, pero incluso en él habrá hechos subsidiarios no mecánicos, por ejemplo, la producción de algún calor, o la perturbación del equilibrio eléctrico en las zonas de colisión. Por eso habrá cierto número de leyes que operarán subsidiariamente en una colisión, además de las leyes mecánicas. Otra razón para insistir en que los hechos cumplen conjuntos de leyes más que leyes sueltas es que la explicación rigurosa de un solo aspecto de los hechos suele ya exigir una o más teorías, o sea, sistemas de fórmulas legaliformes.

Pero ¿por qué hemos de aceptar el principio de legalidad? ¿No podría haber hechos completamente sin ley, hechos que no satisficieran conjunto alguno de leyes? ¿Y no podremos nosotros, en la edad espacial, cambiar las leyes de la naturaleza en alguna medi-

da? Se ha sostenido frecuentemente, desde los tiempos de Epicuro, que puede haber desviaciones espontáneas e indeterminadas respecto de las líneas de las leyes naturales; pero esa afirmación no se ha argüido nunca convincentemente. También se ha sostenido que la microfísica había abandonado el principio de legalidad, que las fluctuaciones características de la teoría de los quanta eran completamente caóticas. Pero eso es un mero equívoco: precisamente partimos de las *leyes* de la teoría de los quanta para inferir que los fenómenos cuánticos presentan una característica fluctuación estadística, la cual, dicho sea de paso, es calculable. Para establecer la existencia de acontecimientos sin ley habría que probar que tales acontecimientos caen fuera de *todo posible* conjunto de fórmulas legaliformes. ¿Y quién se atrevería a intentarlo?

Ningún científico enfrentado con un hecho anómalo puede justificadamente concluir que el hecho es absolutamente ajeno a leyes, porque ningún científico puede dominar todas las leyes descubiertas y descubribles. Y sólo un conocimiento completo de las leyes podría bastar para establecer la legalidad de un hecho, puesto que ‘sin ley’, significa precisamente “que no satisface ningún conjunto de leyes”. Las dos hipótesis contradictorias “Todos los hechos son según ley” y “No todos los hechos son según ley” (o sea, “Algunos hechos son sin ley”) no son igualmente probables a la luz de la evidencia disponible. “Todos los hechos son según ley” ha sido hasta ahora confirmada por la ciencia y, además, puede considerarse como sólo confirmable y no refutable. En cambio, “No todos los hechos son según ley” no quedará nunca establecida si, como es probable, el universo físico es infinito al menos en un respeto (el temporal o el espacial).

Hay una aparente excepción al principio de legalidad: el conjunto de los teoremas de la mecánica estadística que empiezan con las palabras ‘Casi siempre’ o alguna expresión lógicamente equivalente a ella, como ‘Para casi todos los puntos’, o ‘Para casi toda trayectoria’. Todo enunciado de este tipo permite una infinidad numerable de excepciones a la ley formulada a continuación del perturbador prefijo. ¿Qué decir de esas posibles excepciones? ¿Se encuentran realizadas en la naturaleza? Por ejemplo: ¿tienen lugar en algún sistema aislado disminuciones espontáneas de la entropía? En caso de que se presentaran datos en ese sentido: ¿serían reconocidos como excepciones o interpretados como errores experimentales a causa de su repetición improbable y asistemática? Y, caso de reconocerlos como anomalías, ¿serían absolutamente sin ley, u “obedecerían” a leyes diversas? Es decir: ¿sería posible subsumirlos bajo leyes estrictamente universales? La física contemporánea no tiene respuestas para esas preguntas, principalmente porque esas preguntas no se formulan siquiera. En todo caso, la existencia de leyes del tipo de ‘casi todos’ no refuta el principio de legalidad, porque éste no afirma que todo acontecimiento satisfaga las leyes conocidas, sino que ningún hecho cae fuera de todo esquema de leyes, conocido o desconocido. Y una excepción sin explicar es una provocación al descubrimiento de nuevas leyes, no una refutación del principio de legalidad.

Pero admitiendo que la naturaleza no “viola” sus propias leyes, podría seguirse preguntando si puede cambiarlas el hombre. De acuerdo con una antigua creencia, el hombre puede efectivamente “violar” algunas leyes de la naturaleza (por ejemplo, obrando *contra natura*), tras de lo cual la Naturaleza se venga de su violador. Pero lo que realmente significa esa vieja tradición es que pueden violarse —pagando el precio de un castigo— convenciones sociales que se creen “naturales” simplemente porque son viejas. ¿Qué

decir de las leyes propiamente dichas? La opinión hoy más recibida entre las personas cultas es que el hombre no puede alterar leyes propiamente dichas, pero puede impedir o suspender temporalmente la operación de unas pocas leyes. Por ejemplo: puede impedir el crecimiento normal de ciertas poblaciones controlando su suministro de alimentos o su tasa de reproducción —o incluso aniquilándolas. Pero lo que pasa es que en estos casos utilizamos, por así decirlo, unas leyes para contrarrestar otras.

Puede, sin embargo, argüirse, que, además de impedir y suspender la operación de algunas leyes, el hombre puede provocar el nacimiento de *leyes nuevas* sin más que producir nuevos acontecimientos o nuevas cosas. Pero, en realidad, cuando se produce algo nuevo esa novedad es o bien (i) en *número* (ejemplo: un automóvil más de una serie estandarizada o normada), o (ii) en la *disposición* (ejemplo: un nuevo modelo de automóvil), o (iii) en la *cualidad* (ejemplo: una nueva partícula elemental, o un nuevo polímero, o una nueva planta híbrida antes no hallada en la naturaleza). La novedad radical, la novedad de la que puede presumirse que aparece por vez primera en la historia del universo, se caracteriza por nuevas propiedades o por nuevas relaciones entre propiedades preexistentes. Si las propiedades son nuevas, el principio de legalidad nos llevará a formular la hipótesis de que estarán relacionadas de un modo invariante, o sea, de que cumplirán leyes —nuevas, desde luego. Si las propiedades se habían visto ya previamente ejemplificadas, entonces las relaciones entre ellas constituirán una nueva ley. En cualquier caso, la novedad auténtica en las cosas o en los acontecimientos acompaña a la novedad auténtica en las leyes. Dicho brevemente, la aparición de novedad cualitativa se solapa con la aparición de nuevas leyes. Esto está clarísimo en el caso de los objetos que se encuentran bajo directo control humano, a saber, las relaciones sociales. Siempre que el hombre ha creado una forma nueva de sociedad, ha creado al mismo tiempo nuevas leyes sociales, aunque conservando algunas antiguas, probablemente las relacionadas de un modo más directo con leyes biológicas y psicológicas básicas. Pero la aparición de nuevas leyes no supone ninguna violación del principio de legalidad, sino que plantea el nuevo y complicado problema de las leyes que rigen la aparición de leyes (cf. sec. 9.5).

¿Qué razones tenemos, en definitiva, para aceptar el principio de legalidad? ¿Tal vez y meramente que es la zanahoria que mantiene en marcha el asno de la ciencia? No sólo eso. Además de su valor heurístico, pueden aducirse en su apoyo las siguientes razones. En primer lugar, el principio ha ido confirmándose, mientras que las suposiciones referentes a hechos sin ley han sido refutadas debidamente. En segundo lugar, la búsqueda de la ley —esencia de la investigación científica— presupone no sólo que hay leyes (principio débil), sino, más particularmente, el principio fuerte de que no ocurre nada sin ley. La afirmación dogmática de que tiene que haber ciertos campos —por ejemplo, el del Espíritu— intrínsecamente sin leyes es coja científica y filosóficamente porque impide desde el principio la búsqueda de leyes en el campo de que se trate. De este modo, en efecto, el campo presuntamente sin leyes se excluye de la ciencia, porque no hay ciencia en sentido propio sin fórmulas legaliformes. Por tanto, el mero cultivo de la ciencia presupone el principio de legalidad (cf. sec. 5.9).

¿Qué estatuto tiene el principio de legalidad? Se ha dicho que es una proposición analítica, una fórmula lógicamente verdadera. Tal sería el caso, en efecto, si “ley” y “hecho” se definieran cada uno por el otro. Por ejemplo, si definiéramos “hecho” como “aque-

llo que satisface un conjunto de leyes”, el principio “Todos los hechos son según leyes” se convertiría en una tautología. Podemos sin duda tomar esa decisión, pero no debemos hacerlo, porque el principio de legalidad, tal como se entiende corrientemente, está muy lejos de ser vacío, y el vaciarlo no supone ninguna ventaja. Otra objeción al principio puede ser la de que, aunque es confirmable, no es refutable. Efectivamente, en cuanto que apareciera una aparente excepción al principio, la eliminaríamos diciendo que con el tiempo se encontrará una fórmula legaliforme más verdadera bajo la cual pueda subsumirse la aparente anomalía. Y ningún amante de la ciencia puede razonablemente rechazar esta hipótesis protectora y programática, porque suprimir el principio de legalidad sería un crimen peor que el matar la gallina de los huevos de oro: el principio de legalidad no es meramente una pieza del conocimiento, sino su motor. La única salida consiste, pues, en reconocer la existencia de hipótesis irrefutables, entre ellas las del principio de legalidad, en la medida en que promueven la investigación, en vez de bloquearla. (La necesidad de hipótesis irrefutables, pero fundadas y confirmadas, se arguye en la sección 5.8.).

Puede estimarse la medida en la cual el principio de legalidad promueve la investigación observando que es la base de un principio metodológico que, de un modo u otro, ha inspirado siempre la investigación. Se trata de la siguiente

REGLA. Buscar leyes sin permitir que nos detengan en esa búsqueda ni el fracaso (descubrimiento de excepciones) ni el éxito (descubrimiento de leyes por el momento sin excepciones).

Suponiendo que aceptamos el principio de legalidad, podemos preguntarnos qué clase de principio es. No es una hipótesis científica, puesto que no se refiere a ninguna clase particular de hechos ni es plenamente contrastable por la experiencia. El principio no es tampoco metacientífico, puesto que no se refiere a la ciencia, aunque sea relevante para ella. (A primera vista puede considerarse como un principio metanómico, puesto que se refiere a leyes. Pero también esta identificación sería errónea, porque es claro que el término ‘según leyes’ que se presenta en el enunciado que expresa nuestro principio, significa “que satisface leyes objetivas” y no “de acuerdo con enunciados legaliformes”). Al no ser ni científico, ni lógico, ni epistemológico, el principio de legalidad tiene que ser ontológico, con la condición de que el término ‘ontología’ se libere de su significación tradicional de “ciencia del ente como tal”, independiente de la ciencia factual, y se entienda en cambio como nombre de una disciplina que, con espíritu científico, trata de amplias categorías con referencia factual, como la ley, el tiempo, la organización, y de fórmulas legaliformes no restringidas a campos especiales, como “Nada se desarrollará eternamente”. Dicho con pocas palabras: el principio de legalidad es un principio ontológico presupuesto y confirmado por la investigación científica.

Esto completa nuestro estudio de las leyes. Podemos ahora plantearnos el tema de los sistemas de fórmulas legaliformes, o sea, de las teorías científicas.

Problemas

6.8.1. La alergia y la anafilaxis se consideraron inicialmente como excepciones a las leyes de la inmunidad, y ahora se entienden como una clase de reacción de inmunidad. Dar razón de ese desarrollo en el sentido de la legalidad.

6.8.2. La partenogénesis (“nacimiento por una virgen”) accidental u ocasional se ha considerado como imposible o como milagroso, y en cualquier caso fuera del orden de la ley. ¿Cuál es hoy día el estatuto de esa noción? Indicación: buscar y discutir información acerca de la embriología de los lagartos. *Problema en lugar de ése*: El código genético puede sufrir cambios espontáneos (mutaciones) a causa de “errores protónicos”. ¿Son esos “errores” desviaciones casuales de la ley?

6.8.3. Comentar la frase de Montesquieu “Las leyes son relaciones necesarias que se desprenden de la naturaleza de las cosas” (proposición inicial de *L'esprit des lois*). *Problema en lugar de ése*: Discutir el cap. x “On Miracles” de *An Inquiry Concerning Human Understanding*, de D. Hume, del que hay muchas ediciones.

6.8.4. Examinar el siguiente fragmento tomado de B. Russell, “On Scientific Method in Philosophy”, 1914, reimpreso en *Mysticism and Logic*, Londres, Penguin Books, 1953, p. 99: “...lo sorprendente en la física no es la existencia de leyes generales, sino su gran simplicidad. Lo que debe sorprendernos no es la uniformidad de la Naturaleza porque, con suficiente habilidad analítica, todo decurso concebible de la Naturaleza puede presentarse como dotado de uniformidad. Lo que debe sorprendernos es el hecho de que la uniformidad sea tan simple que podamos descubrirla”. ¿En qué tipo de fórmulas legaliformes está pensando Russell al escribir eso: en generalizaciones empíricas, del tipo de las curvas empíricas, o en leyes teoréticas? ¿Y qué tipo de simplicidad tiene presente: sintáctica, semántica, epistemológica o pragmática? Para un análisis de la simplicidad cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, especialmente caps. 4 y 5. *Problema en lugar de ése*: Explicitar las diferencias entre línea tendencial y ley. Tener presente que, mientras de las leyes suele suponerse que son eternas (cosa discutible), ninguna línea tendencial puede proseguir indefinidamente: cuanto más tiempo se ha mantenido una línea tendencial, tanto más probable es que se detenga o cambie (G. G. Simpson).

6.8.5. Listar algunas leyes sociales. Véase M. Bunge, *Social Science under Debate*, Toronto: University of Toronto Press, 1998.

6.8.6. Describir algunos rasgos de un imaginario mundo sin leyes. En particular, discutir si podríamos obrar deliberada y eficazmente en un mundo así y si en él podríamos aprender algo de la experiencia. *Problema en lugar de ése*: Discutir la conjetura según la cual nuestras experiencias infrecuentes, así como las anomalías halladas en el curso del trabajo científico, son casos de ruptura de las leyes de la naturaleza y, en particular, resultado de la interferencia con “fenómenos psíquicos”, tales como la psicocinesis.

6.8.7. ¿Es según leyes todo conjunto de hechos? En particular, ¿es según leyes todo conjunto de acontecimientos sucesivos de alguna clase? Recordar el caso de las series temporales casuales (cf. sección 6.6.). Intentar establecer un criterio de legalidad para conjuntos de hechos, y relacionar este problema con el de las leyes de la historia. *Problema en lugar de ése*: ¿Puede refutar la experiencia el principio de legalidad? Cf. W. Whewell, *Philosophy of the Inductive Sciences*, 2a. ed., Londres, Parker, 1847, I, p. 253.

6.8.8. H. Reichenbach, en sus *Elements of Symbolic Logic*, Nueva York, Macmillan, 1947, p. 393, propuso las siguientes definiciones:

Df 1 p es físicamente necesario =_{df} ‘ p ’ es un enunciado nomológico.

Df 2 p es físicamente imposible =_{df} ‘ $\neg p$ ’ es un enunciado nomológico.

Df 3 p es físicamente posible =_{df} ni ‘ p ’ ni ‘ $\neg p$ ’ son enunciados nomológicos.

Discutir las siguientes cuestiones: (i) Según Df 1, las fórmulas legaliformes probabilistas no cubrirían más que acontecimientos necesarios, a menos que estipuláramos caprichosamente qué ‘enunciado nomológico’ no designa una fórmula legaliforme probabilista. Y como ninguno de los dos resultados parece deseable, ¿qué debemos hacer con Df 1 y con su consecuencia Df 2? (ii) Df 3 parece poner en equivalencia el concepto de “físicamente posible” con el de “sin ley”, lo cual elevaría los milagros a la categoría de lo físicamente posible. ¿Hay alguna salida de esa situación? (iii) Proponer una definición propia de “físicamente posible”. *Problema en lugar de ése*: La ciencia estudia cierto número de clases de acontecimientos casuales. ¿Significa ‘casualidad’ “sin ninguna ley”? Cf. J. Venn, *The Logic of Chance*, 3a. ed., 1888; Nueva York, Chelsea Publishing Co., 1962, cap. v, y M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, cap. 11.

6.8.9. Suponiendo que puede cambiar el acervo de leyes objetivas, pueden también concebirse dos tipos de cambio: (i) que surjan nuevas leyes, y (ii) que cambien algunas leyes preexistentes. Primera cuestión: ¿En qué podría consistir el cambio de una ley? Segunda cuestión: ¿Sería un tal cambio continuo o discontinuo? Tercera cuestión: ¿Serían según leyes la aparición de leyes nuevas y el cambio de leyes preexistentes? En caso afirmativo, ¿habría leyes del cambio de leyes? *Problema en lugar de ése*: De muchas cosas se dice que son arbitrarias: por ejemplo, los nombres son arbitrarios, en el sentido de que no corresponden a ninguna propiedad de los objetos nombrados. ¿Se trata de casos de ausencia de ley?

6.8.10. Discutir el siguiente fragmento, tomado de H. Weyl, *Symmetry*, Princeton, Princeton University Press, 1952, p. 26: “Si toda la naturaleza fuera según leyes, entonces todo fenómeno conllevaría la simetría plena de las leyes universales de la naturaleza tal como se formulan en la teoría de la relatividad. El mero hecho de que ése no sea el caso prueba que la contingencia es un rasgo esencial del mundo.” Primera cuestión: ¿Lleva razón Weyl al suponer que las leyes teoréticas describen los fenómenos, y hasta que todo fenómeno puede describirse totalmente sobre la base de una sola fórmula legaliforme o de una sola teoría? Segunda cuestión: Las simetrías presentes en las leyes de nivel alto, ¿quedan necesariamente conservadas por sus consecuencias de nivel bajo, las que sirven para describir los fenómenos? Considerar, por ejemplo, la simetría temporal de las leyes de la mecánica, o sea, su invariancia respecto del cambio de t por $-t$. Tercera cuestión: ¿Hay que identificar la legalidad con la simetría matemática que presentan las leyes fundamentales de la teoría de la relatividad (cuando se formulan de un modo adecuado para producir la simetría matemática entre las coordenadas de tiempo y espacio)? *Problema en lugar de ése*: Discutir el papel de las leyes en el conocimiento de la esencia de los hechos actuales y en la previsión de los posibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Ashby, W. Ross, *An Introduction to Cybernetics*, Londres, Chapman and Hall, 1956, cap. 7.
 Bridgman, P. W., *Dimensional Analysis*, Nueva Haven, Conn., Yale University Press, 1922.
 Bunge, M., *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, cap. 4.
 ———, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, caps. 9-12.
 ———, *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.
 ———, *Economía y filosofía*, Madrid, Tecnos, 1982.
 ———, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 10.
 ———, *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998 [*Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana, 1999].

- Exner, F., *Vorlesungen über die Physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, 2a. ed., Leipzig y Wien, Deuticke, 1922, parte iv.
- Kant, I., *Prolegómenos a toda metafísica futura que quiera presentarse como ciencia*, varias eds.
- Kneale, W., *Probability and Induction*, Oxford, Clarendon Press, 1949, seccs. 16-20.
- Mahner, M., y M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy*, Nueva York, Springer, 1997 [*Fundamentos de la biofilosofía*, Siglo XXI, 2000].
- Mehlberg, H., *The Reach of Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1958, parte II, cap. 2.
- Mill, J. Stuart, *A System of Logic*, 8a. ed., 1875, Longmans, Green and Co., 1952, libro III, cap. iv.
- Popper, K. R., *The Open Society and its Enemies*, 4a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1962, I, cap. 5.
- , *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1960, seccs. 20 y 26-28.
- Schrödinger, E., *Science: Theory and Man*, 1935; Nueva York, Dover Publications, 1957, cap. vi.
- Stanley Jevons, W., *The Principles of Science*, 2a. ed., 1877, Nueva York, Dover Publications, 1958, caps. XXI, XXII, XXIX y XXXI.
- Yule, G.U., y M. G. Kendall, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 14a. ed., Nueva York, Hafner, 1950, caps. 26 y 27.

7. TEORÍA: ESTÁTICA

Las síntesis están más allá de la ciencia inicial, igual que tampoco se encuentran en el pensamiento infantil. La investigación científica, como la curiosidad infantil, arranca de preguntas; pero, a diferencia de las preguntas infantiles, culmina con la construcción de sistemas de ideas muy compactos, a saber, las teorías. Es una peculiaridad de la ciencia contemporánea el que la actividad científica más importante —la más profunda y la más fecunda— se centre en torno a teorías, y no en torno a la recolección de datos, las clasificaciones de los mismos o hipótesis sueltas. Los datos se obtienen a la luz de teorías y con la esperanza de concebir nuevas hipótesis que puedan a su vez ampliarse o sintetizarse en teorías; la observación, la medición y el experimento se realizan no sólo para recoger información y producir hipótesis, sino también para someter a contrastación las teorías y para hallar su dominio de validez; las explicaciones y las predicciones se realizan también en el seno de teorías; y la misma acción, en la medida en que es deliberada, se basa cada vez más en teorías. Dicho brevemente: lo que caracteriza la ciencia moderna es la insistencia en la teoría —en la teoría empíricamente contrastable, desde luego— y no el interés primordial por la experiencia en bruto.

En una teoría hay que distinguir entre la forma y el contenido, entre la estructura lógica y la interpretación. Bastan esqueletos con ciertas propiedades puramente lógicas para tener teorías: hay, en efecto, teorías formales —o sea, teorías lógicas o matemáticas. Pero en una teoría factual se constituyen simultáneamente los huesos y la carne. Por tanto, aunque hay que distinguir los unos de la otra, no pueden, en cambio, separarse: la semántica de una teoría va de la mano de su sintaxis. Pero, como es natural, puede subrayarse en cada momento uno solo de esos dos aspectos complementarios. El presente capítulo acentúa la estructura, mientras que el siguiente subraya las referencias factuales, el contenido. En la Parte III nos ocuparemos de las aplicaciones de las teorías, y en la Parte IV de su contrastación.

7.1. EL SISTEMA NERVIOSO DE LA CIENCIA

La infancia de toda ciencia se caracteriza por su concentración sobre la búsqueda de variables relevantes, datos singulares, clasificaciones e hipótesis sueltas que establezcan relaciones entre esas variables y expliquen aquellos datos. Mientras la ciencia permanece en este estadio semi-empírico carece de unidad lógica: una fórmula de cualquier rama de la ciencia es una idea autocontenida que no puede relacionarse lógicamente con fórmulas de otras ramas. Consiguientemente, la contrastación empírica de cualquiera de ellas puede dejar sin afectar a las demás. Dicho brevemente: mientras se encuentran en el estadio semi-empírico —preteorético—, las ideas de una ciencia no se enriquecen ni controlan las unas a las otras.

A medida que se desarrolla la investigación se descubren o inventan relaciones entre las hipótesis antes aisladas, y se introducen hipótesis más fuertes que no sólo contienen las viejas, sino que dan de sí generalizaciones inesperadas: como resultado de ello se constituyen uno o más *sistemas de hipótesis*. Estos sistemas son síntesis que incluyen lo conocido, lo meramente sospechado y lo que puede predecirse acerca de un tema dado. Tales síntesis, caracterizadas por la existencia de una relación de deducibilidad entre algunas de sus fórmulas, se llaman sistemas hipotético-deductivos, modelos o, simplemente, teorías. Ejemplos destacados de teorías científicas son la mecánica de Newton, la teoría evolucionista de Darwin y la genética de poblaciones.

En el lenguaje ordinario y en la metaciencia ordinaria, ‘hipótesis’, ‘ley’ y ‘teoría’ son términos que se intercambian frecuentemente; y a veces se entiende que las leyes y las teorías son el núcleo de las hipótesis. En la ciencia progresada y en la metaciencia contemporánea suele distinguirse entre los tres términos: ‘ley’ o ‘fórmula legaliforme’ designa una hipótesis de una cierta clase, a saber, una hipótesis no singular, no aislada, referente a una estructura o esquema y corroborada; y ‘teoría’ designa un sistema de hipótesis entre las cuales destacan las leyes, de modo que el núcleo de una teoría es un sistema de fórmulas legaliformes. Para minimizar las confusiones al respecto adoptaremos provisionalmente la siguiente caracterización: un conjunto de hipótesis científicas es una teoría científica si y sólo si refiere a un determinado tema factual y cada miembro del conjunto es o bien un supuesto inicial (axioma, supuesto subsidiario o dato) o bien una consecuencia lógica de uno o más supuestos iniciales. Esta caracterización se afinará en las secciones siguientes. La caracterización, tal como está ahora, sugiere diagramas arborescentes como el de la figura 7.1, que representa una teoría imaginaria e ilustra la subclase de las teorías conocidas con el nombre de ‘teorías axiomáticas’, las cuales no contienen más supuestos que los axiomas. Todo en esas teorías depende de los supuestos iniciales, o hipótesis del nivel más alto. Si se prefiere el nombre ‘supuesto básico’ al de ‘hipótesis del nivel más alto’ hay que invertir el árbol; en este caso se obtiene una forma de diagrama arborescente corriente en el álgebra.

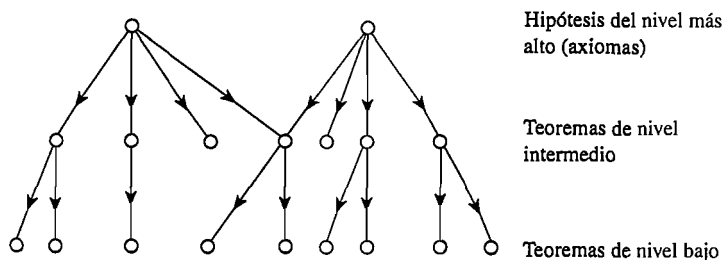


FIGURA 7.1. Representación gráfica de una teoría axiomática imaginaria de dos premisas iniciales (axiomas). Las flechas simbolizan la relación de consecuencia lógica, $\vdash$. Cuando dos flechas llevan a un mismo nodo se tiene una representación de la deducción de una fórmula a partir de dos fórmulas de nivel superior tomadas conjuntamente.

Un manajo de hipótesis sin coordinar, aunque siempre es mejor que la completa falta de hipótesis, puede compararse con un acúmulo de protoplasmas sin sistema nervioso. Es ineficaz, no ilumina nada y, además, no da razón de las efectivas interrelaciones que se dan entre algunas de las estructuras reales (leyes objetivas). El progreso de la ciencia no consiste en amontonar sin criterio crítico generalizaciones aisladas, y aún menos datos sueltos. El progreso de la ciencia supone siempre, en menor o mayor medida y entre otras cosas, un aumento de la *sistematicidad* o coordinación. La sistematicidad tiene, entre otras, las siguientes virtudes: (i) una proposición factual puede adquirir pleno sentido sólo dentro de un contexto y por virtud de sus relaciones lógicas con otros elementos de dicho contexto, mientras que una proposición aislada —en la medida en que tales proposiciones existan— difícilmente tiene significación; (ii) al quedar absorbida en una teoría, una hipótesis recibe el apoyo (o la refutación) de un campo factual más amplio, a saber, el campo entero cubierto por la teoría; mientras que una hipótesis aislada no tiene más apoyo, si tiene alguno, que el de sus propios casos. Dicho brevemente: la teorización hace más precisa la significación de las hipótesis y refuerza su contrastabilidad. Además, explica la mayoría de la hipótesis por el procedimiento de subsumirlas bajo supuestos más fuertes (axiomas y teoremas de nivel intermedio).

El volumen y la adecuación relativos del trabajo teórico miden, pues, el grado de progreso de una ciencia, al modo como la dimensión y la eficiencia relativas del sistema nervioso son un índice del progreso biológico. Por esta razón la psicología y la sociología, a pesar de su enorme acervo de datos empíricos y generalizaciones de bajo nivel, siguen considerándose aún en un estadio subdesarrollado: porque no abundan en teorías lo suficientemente amplias y profundas como para dar razón del material empírico disponible. Pero en esos como en otros departamentos de la investigación, la teorización se considera frecuentemente como un lujo, y no se admite como ocupación decente más que la recolección de datos, o sea, la descripción. Y esto hasta el punto de que está de moda en esas ciencias oponer la teoría (como especulación) a la investigación (entendida como acarreo de datos). Esta actitud paleocientífica, sostenida por un tipo primitivo de filosofía empirista, es en gran parte la causa del atraso de las ciencias del hombre. En realidad, ese punto de vista ignora que los datos no tienen sentido ni pueden ser relevantes más que en un contexto teórico, y que la acumulación al azar de datos, e incluso las generalizaciones que no son más que condensaciones de datos, son en gran parte pura pérdida de tiempo si no van acompañadas por una elaboración teórica capaz de manipular esos resultados brutos y de orientar la investigación. No se puede saber si un dato es relevante si no se es capaz de interpretarlo; y la interpretación de datos requiere el uso de teorías. Además, sólo las teorías pueden sugerir la búsqueda de información no suministrada espontáneamente por los sentidos: imagínese cómo habría sido posible sin una teoría genética la búsqueda del código genético. Por otra parte, es instructivo reflexionar acerca del descubrimiento de que el pulpo obtiene de su medio aproximadamente la misma información que recibimos nosotros del nuestro, o sobre el hecho de que los perros reciben incluso más información sensorial de ciertas clases que nosotros, pese a lo cual no han desarrollado ninguna ciencia.

Como la comprensión de la ciencia como mera recolección de datos y condensación de ellos en generalizaciones empíricas ignora los objetivos de la teorización, será conve-

niente formular éstos de modo explícito. Los desiderata básicos de la construcción de teorías científicas son los siguientes: (i) *Sistematizar el conocimiento* estableciendo relaciones lógicas entre entidades antes inconexas; en particular, explicar las generalizaciones empíricas derivándolas de hipótesis de nivel superior. (ii) *Explicar los hechos* por medio de hipótesis que impliquen las proposiciones que expresan dichos hechos. (iii) *Incrementar el conocimiento* derivando nuevas proposiciones (por ejemplo, previsiones) de las premisas, en conjunción con información relevante. (iv) *Reforzar la contrastabilidad* de las hipótesis sometiéndolas al control de las demás hipótesis del sistema.

La anterior lista de objetivos básicos de la teorización científica puede usarse como criterio para separar las teorías científicas de las *pseudoteorías*. Ningún conjunto de conjeturas se considerará como una teoría científica factual si no constituye un sistema hipotético-deductivo propiamente dicho, si no suministra explicación y previsión y si no es contrastable. Esto es lo menos que debe exigirse de una teoría científica, aunque muchas doctrinas que se consideran teorías –como la psicología de la *Gestalt* o forma, el psicoanálisis y la parapsicología– no satisfacen todos esos requisitos.

Unas cuantas teorías científicas satisfacen no sólo los desiderata básicos *i-iv*, sino, además, los siguientes objetivos adicionales: (v) *Orientar la investigación*, ya *a*] mediante el planteamiento o la reformulación de problemas científicos fecundos, ya *b*] mediante sugerencias sobre la recolección de nuevos datos que serían inimaginables sin la inspiración de la teoría, ya *c*] inspirando nuevas líneas enteras de investigación. (vi) *Ofrecer un mapa de un sector de la realidad*, esto es, una representación o modelo (generalmente simbólico, no icónico o imaginativo) de objetos reales, y no un mero sumario de datos y un procedimiento para producir datos nuevos (previsiones).

Las teorías que satisfacen los seis desiderata *i-vi* se consideran generalmente *grandes* teorías científicas. Entre ellas, las más grandes son las que producen un *modo de pensar* enteramente *nuevo*: éstas son los gigantes del conocimiento científico. Ejemplo de gran teoría científica que revoluciona el modo de pensar en varias ramas de la ciencia es la teoría darwinista de la evolución: esa teoría planteó los problemas del origen de las diferencias individuales y de los mecanismos de formación de especies nuevas y de su distribución geográfica; acostumbró a los biólogos, y luego a los sociólogos, los psicólogos, los lingüistas y otros, a pensar a base de los conceptos de origen, adecuación y evolución. No puede, pues, asombrar que las grandes teorías se consideren como la cima de la ciencia.

¿Cuándo debe empezar la teorización? Esta pregunta presupone que la teorización tiene que empezar en algún momento. Ese supuesto queda aparentemente refutado por la existencia de disciplinas pre-teoréticas, como la geografía y la sistemática biológica pre-evolucionista, que son estrictamente descriptivas y taxonómicas. Pero como no formulan ni contrastan hipótesis, no tienen ocasión de utilizar el método científico, y, consiguientemente, no son ciencias, sino disciplinas no-científicas, por exactas que puedan ser. Esas disciplinas suministran y hasta sistematizan datos que luego puede usar la ciencia, pero ellas mismas no son ciencias, sino protociencias a lo sumo. Así, por ejemplo, la geografía suministra información a la geología y a la sociología, y la sistemática pre-evolucionista la facilita a la biología. Esos datos se convierten en problemas que tienen que resolverse mediante la construcción de teorías. Donde no hay teoría no hay ciencia.

Nuestra anterior pregunta –‘¿Cuándo debe empezar la teorización?’– no tiene, pues,

más que una respuesta razonable, aunque sibilina: ‘La teorización debe empezar lo antes posible.’ Los espíritus especulativos empezarían a teorizar,—sobre la vida en otros planetas, por ejemplo— *antes* de haber conseguido cualquier información acerca de las condiciones físicas que imperan en esos cuerpos. Las mentalidades más terrestres, por el contrario, retrasarían la teorización sobre ese tema hasta *después* de haberse asegurado una gran masa de observaciones sobre organismos extraterrestres, y condenarían por acientífico todo intento de interpretar datos indirectos, astronómicos, como evidencia en favor o en contra de conjeturas relativas a la vida extraterrestre. La teorización sobre la base de una información insuficiente puede llevar a teorías irrelevantes o inmaduras, del mismo modo que la recolección de datos sin la luz de ninguna teoría puede llevar a información irrelevante o, por lo menos no comprendida. Las dos cosas pueden suponer una gran pérdida de tiempo, pero, en todo caso, sin alguna previa especulación nadie tendría siquiera la idea de recoger datos de una cierta naturaleza, por ejemplo, datos relevantes para la hipótesis de que haya organismos fuera de nuestro planeta.

Un motivo de la teorización es la sistematización de un cuerpo de datos obtenidos a la luz de algunas conjeturas sueltas. ¿Cuál es la masa de datos necesaria para empezar a teorizar? ¿Cuándo no es ni demasiado pronto ni demasiado tarde para empezar? Nadie puede contestar a esas preguntas. Todo depende de la novedad del campo y de la existencia de científicos de orientación teórica dispuestos a correr el riesgo de proponer teorías que acaso no consigan dar razón de los datos o que sucumban a la primera acometida de nueva información buscada para contrastarlas: esto exige bastante valor moral, especialmente en una época dominada por el criterio del éxito: la mejor manera de asegurarse el éxito académico consiste, naturalmente, en no tocar problemas serios. Parecen, a pesar de todo, ciertas dos cosas: que la teorización prematura será probablemente errada —aunque no estéril—, y que el retraso grande en teorizar es peor que cualquier número de fracasos, porque (i) promueve la acumulación ciega de información que puede resultar en su mayor parte inútil, y (ii) la gran masa de información puede hacer casi imposible el arranque de la teorización.

En efecto: un número grande de datos sin estructurar son un estorbo, porque siempre que se dispone de un gran cuerpo de información es improbable la construcción de un modelo sencillo, y lo más que podemos conseguir en los comienzos de un proceso de teorización son precisamente modelos sencillos. (Las calculadoras pueden “manipular” —o sea almacenar, seleccionar, agrupar y hasta condensar— cualquier cantidad de datos, pero no apreciarán esquema alguno en ellos, como no sean las estructuras inicialmente introducidas en las máquinas por los operadores, por ejemplo, estructuras polinómicas. Sólo cerebros entrenados en un medio que disponga de una tradición cultural pueden discernir estructuras o más propiamente, formularlas hipotéticamente.) Al comienzo no se construyen más que modelos sencillos que, si son científicos, pueden acaso mejorarse, complicarse para recoger mejor los datos y conseguir comprensión más profunda. Y desde el principio hasta el final no se construyen más que *modelos* o esquematizaciones teóricas, o sea, sistemas conceptuales que intentan *representar* algunos aspectos interrelacionados de sistemas reales. (Un modelo, en este sentido del término, no tiene por qué ser visualizable ni imaginativamente intuible: puede ser simbólico o abstracto en sentido epistemológico. Los modelos intuibles son sólo una subclase de los modelos.)

Mientras que el experimentador se ocupa de la investigación de sistemas reales –por ejemplo, fluidos reales– en todos sus detalles relevantes, y de averiguar en qué medida las teorías disponibles dan razón de tales objetos concretos, el teorizador no maneja en absoluto sistemas reales, sino que crea idealizaciones de los mismos que no conservan sino algún parecido con ellos. En realidad, toda teoría científica se limita a referirse a unos *pocos aspectos* del sistema real que esquematiza –por ejemplo, a sus aspectos mecánicos. Además, no introduce para dar cuenta de tales aspectos, sino unas *pocas variables*, despreciando o desconociendo las demás. Por último, tampoco se introducen sino unas *pocas relaciones* entre esas variables relevantes, para dar razón del esquema objetivo de la estructura y el comportamiento del correlato real.

Dicho brevemente: las teorías científicas tratan de *modelos ideales* que se supone representan, de modo más o menos simbólico y con alguna aproximación, ciertos aspectos de los sistemas reales, y jamás todos sus aspectos. Por ejemplo, una teoría de las transacciones económicas puede idealizar a la gente atribuyéndole un comportamiento puramente racional, y puede descartar todo rasgo no-económico del comportamiento de los sujetos. Por esta razón, aunque frecuentemente se llama *modelos* a las teorías, es más correcto decir que las teorías *suponen modelos* y que estos modelos, y no las teorías mismas, es lo que se supone que representan los correlatos de las teorías. Una teoría, tomada en su totalidad, *refiere* a un sistema –o, más bien, a una clase de sistemas–, y el modelo supuesto por la teoría *representa* ese sistema. Cf. fig. 7.2. Teorías rivales tendrán el mismo correlato, pero lo presentarán de modos diversos; y no es necesario que los modelos correspondientes difieran entre sí. Así, por ejemplo, una colección de partículas puntuales puede servir como modelo en una teoría clásica y en una teoría relativista.

Ninguna teoría retrata una cosa real, o un acontecimiento o un proceso reales. En primer lugar, porque la mayoría de los aspectos de éstos son desconocidos o irrelevantes, o relevantes pero secundarios (o considerados tales). En segundo lugar, porque ninguna teoría es un *retrato* en sentido propio: las teorías científicas son construcciones realizadas con materiales (conceptos, hipótesis y relaciones lógicas) que son esencialmente diferentes de sus correlatos, y, en su mayor parte, de naturaleza no imaginativa.

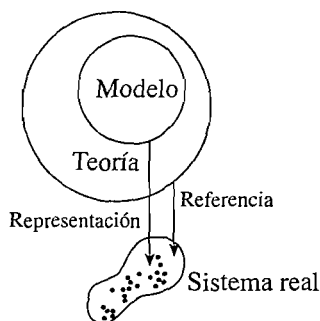


FIGURA 7.2. Las teorías no son modelos, sino que incluyen modelos. Un modelo es una representación idealizada de una clase de objetos reales.

(También una fotografía es esencialmente diferente del objeto retratado pero en cambio consta de material perceptible.) Pues, por de pronto, la lógica y la matemática –el

cemento que enlaza los conceptos científicos— son simbólicas. Y lo mismo son muchos conceptos sustantivos de las teorías científicas, como “carga eléctrica” y “elección”. Desde luego que la mayoría de esos conceptos sustantivos tienen correlato; pero a pesar de ello son tan simbólicos como la palabra escrita, a diferencia del jeroglífico: la palabra es un símbolo, o signo no-icónico, que puede referir a un objeto real. Dicho brevemente: las teorías factuales son *abocetadas* y *simbólicas*, no reconstrucciones completas e icónicas de sistemas reales.

Se pregunta frecuentemente si existen objetivamente las “entidades teoréticas”. No existen, desde luego. Lo que puede existir es la cosa individual, el acontecimiento o la propiedad a que refiere la teoría que contiene un determinado predicado teorético. Aún más: no todos los componentes de una teoría factual pueden tener individualmente un correlato real propio. Piénsese en una partícula que se mueve en un campo de fuerzas: estas dos cosas —la partícula y el campo— que por su interacción constituyen un solo sistema, pueden existir separadamente hasta cierto punto (esto es, mientras el campo no sea el de la partícula). Pero ¿qué decir de los conceptos que constituyen el modelo teorético de este sistema, como “posición instantánea de la partícula” e “intensidad del campo en un punto dado”? Esos conceptos no tienen, desde luego, existencia separada: son conceptos, conceptos sin duda con significación factual, pero conceptos. Además, es dudoso que podamos asignarles contrapartidas materiales individuales. Lo normal es más bien que tenga tal contrapartida en el mundo real la imagen teorética *total*, a saber, el *todo* del sistema físico (partícula-en-un-campo). Las varias partes, propiedades y relaciones de un tal sistema real no tienen existencia separada. Sin duda una mota de polvo que zigzaguea por una habitación ocupa una posición en cada instante, y el campo electromagnético de una válvula del televisor tiene una determinada intensidad en cada punto. Pero si se elimina la mota de polvo se elimina también la posición de la partícula, y si se apaga el televisor desaparecerá la intensidad que tenga el campo en cada punto. No hay propiedades independientes, igual que no hay cosas sin propiedades. Preguntar si existen la posición y la intensidad es como preguntar si existe la relación “más” o si existe la función mental: es caer en el pecado de reificación de los predicados. Nosotros somos los que, para explicar el comportamiento de los objetos concretos, construimos modelos conceptuales que, por precisos que sean, no pueden pretender una contrapartida real y separada para cada uno de sus ingredientes. Dicho brevemente: la correspondencia entre los modelos teoréticos y sus correlatos no es puntual, sino una correspondencia *de sistema a sistema*.

La complejidad de la relación entre la teoría y la realidad, el hecho de que las teorías no sean simplemente resúmenes de datos ni instantáneas de las cosas, sugiere que cuanto antes empiece el trabajo teorético en un campo, tanto más fácil será el desarrollo del conocimiento en él. En los comienzos de una ciencia, cuando se conocen unos pocos hechos y unas pocas generalizaciones, mientras que los criterios de rigor son bastante laxos, es relativamente fácil intentar construir teorías, especialmente con la ayuda de las técnicas simbólicas de la matemática. A medida que se conocen más hechos, en parte gracias a la intervención de teorías aún groseras, es posible perfeccionar éstas; a su vez, las teorías perfeccionadas resultan un instrumento más útil para la consecución de nueva información relevante que de otro modo no podría siquiera buscarse. En cambio, si se va retrasando la construcción de teorías, por no sentirse su necesidad o por temor a los fracasos,

ocupará su lugar un confuso conjunto de creencias y un haz de procedimientos ciegos, pues, en cualquier caso, lo que es imposible es proceder sin ideas. Por este camino la acumulación de datos puede llegar a ser tan imponente y desordenada que sólo un ejército de genios sea capaz de adivinar por dónde debe empezarse a teorizar. Esto es lo que ha ocurrido con la acumulación casual y durante milenios de información imprecisa y superficial –aunque muy a menudo sumamente “interna”– acerca del comportamiento humano. Hay, pues, que intentar formular teorías desde los primeros estadios: en cualquier caso y de algún modo serán superadas, si existen, por otras teorías más complejas y verdaderas.

Las primeras teorías que se presenten en un campo ocupado por los coleccionistas de datos serán muy probablemente objeto de la irrisión de éstos, porque serán por fuerza demasiado artificiales, demasiado abocetadas y demasiado imprecisas. Pero ese tipo de fácil crítica no suele promover el trabajo teórico y responde a una errónea concepción de la naturaleza de las teorías. Nadie ha visto nunca un cuerpo sólido o un fluido como los representados por la mecánica racional: los materiales reales se comportan de un modo muy distinto del prescrito para sus modelos teóricos, pero estos modelos son indispensables hasta para preparar experimentos referentes a los sólidos y a los fluidos reales. La respuesta correcta a la crítica de artificialidad no consiste en partir de las cosas reales y reunir información sobre ellas, sino en introducir más predicados teóricos y más hipótesis que los relacionen, con la intención de enriquecer el modelo teórico, y en preparar experimentos que imiten en la medida de lo posible las condiciones teóricas ideales. Ningún científico puede rechazar una teoría porque no represente fielmente su objeto de un modo completo. Todas las teorías científicas son (i) *parciales*, en el sentido de que tratan sólo algunos aspectos de sus correlatos, y (ii) *aproximadas*, en el sentido de que no están libres de errores.

La teoría científica perfecta (completa y enteramente precisa) no existe ni existirá nunca. El primer miembro de esta conjunción es fácil de establecer con la ayuda de información empírica referente a los logros de las teorías existentes; ninguna de ellas da razón de todos los rasgos de sus correlatos con cualquier grado de precisión deseada –y si alguna teoría parece perfecta, bastará esperar un poco para que deje de parecerlo. El segundo miembro de la anterior tesis –“Nunca se construirá una teoría perfecta”– no puede considerarse irrefutable porque, si se afirma la perfección de cualquier teoría, podemos argüir que la apariencia de perfección es una ilusión debida a nuestras actuales limitaciones, y que la experiencia futura descubrirá más pronto o más tarde imperfecciones de la misma. Este argumento, ciertamente, respira dogmatismo. Pero no necesitamos recurrir a una argumentación a posteriori como ésa, y aún menos a una argumentación que depende de la experiencia futura: la imperfección de toda teoría científica y, por tanto, su fracaso posible, puede establecerse a priori. La argumentación es como sigue.

Toda teoría científica se construye desde el comienzo como una idealización de sistemas o situaciones reales. O sea, la mera construcción de una teoría científica supone *simplificaciones* tanto en la selección de las variables relevantes como en la formulación de hipótesis acerca de relaciones (por ejemplo, enunciados legaliformes) entre ellas. Esas simplificaciones se practican siempre, nos demos cuenta o pasemos por alto el hecho de que equivalen a errores –no confusiones, sino errores en el estricto sentido de discrepancias con los hechos reales. Aún más: lo que acabamos de afirmar no es un mero enuncia-

do descriptivo de costumbres vigentes en la construcción de teorías; es una regla de la construcción de teorías, la cual prescribe que se hagan en el punto de partida todas las simplificaciones que sean necesarias, reduciéndolas luego gradualmente sólo en la medida en que resulten ser amputaciones demasiado brutales. Tales simplificaciones son, desde luego, discrepancias queridas y buscadas respecto de la verdad.

Las idealizaciones intrínsecamente presentes en los supuestos iniciales se propagarán hasta sus consecuencias contrastables, además, muchas veces hay que añadir a los axiomas propiamente dichos, con objeto de poder derivar teoremas comparables con los datos empíricos, supuestos simplificadores auxiliares de los que se sabe que son falsos (por ejemplo, el supuesto de que la Tierra es plana, o el de que es perfectamente esférica). Cuando los teoremas se someten a contrastaciones empíricas, surge antes o después una discrepancia con los resultados de las contrastaciones; la discrepancia aparece tanto más pronto cuanto más finas son las técnicas empíricas. Y esa discrepancia obligará al teórico a complicar gradualmente el cuadro teórico, o incluso a tomar otra vez un punto de partida completamente nuevo. Pero la teoría perfeccionada y más complicada no dejará tampoco de referirse a un modelo ideal, igual que la teoría anterior. Esto es inevitable, porque las teorías son sistemas conceptuales, no haces de experiencias.

Como no puede haber teoría perfecta, debemos intentar construir teorías cada vez mejores, o sea, contribuir al progreso teórico, lo cual sería imposible si la perfección fuera alcanzable. Ahora bien: una condición para poder averiguar si una teoría constituye un perfeccionamiento respecto de alguna otra es disponer de algunos cánones o criterios de la construcción de teorías y de su estimación. En las siguientes secciones estudiaremos los requisitos de una buena teoría científica; y dejaremos para el capítulo 15 los criterios de estimación de las teorías.

Problemas

7.1.1. Resumir una teoría científica expuesta en algún manual científico y puntualizar (i) sus referentes, (ii) sus supuestos básicos (axiomas) y (iii) su dominio de validez.

7.1.2. Una *doctrina* es un conjunto de creencias que se enseñan como verdaderas y del que no se supone que vaya a cambiar sustancialmente a la luz de experiencia nueva. Además, etimológicamente ‘doctrina’ significa lo que se enseña, no lo que se elabora y se somete a contrastación. (i) ¿Qué rasgos tienen en común las doctrinas y las teorías científicas, y en qué se distinguen? (ii) Frecuentemente hay discusiones infinitas sobre las doctrinas: ¿puede ocurrir lo mismo con las teorías? *Problema en lugar de ése*: ¿Cuál es la diferencia específica entre la teorización científica y otros tipos de búsqueda de la unidad en la diversidad?

7.1.3. ¿Por qué fracasaron los alquimistas en la empresa de transformar los metales “básicos” en oro, y por qué han tenido éxito los físicos nucleares en la misma tarea? ¿Fue porque los primeros no habían hecho observaciones suficientes, o porque no se preocuparon por construir una teoría contrastable del mecanismo de transmutación? Consultar alguna historia de la ciencia. Indicación: ser cuidadoso en el estudio, porque la mayoría de las historias de la ciencia presuponen que las ideas desarrollan un papel muy modesto en la ciencia.

7.1.4. ¿Cómo y cuándo nacieron los siguientes modos de pensar? (i) La consideración del universo entero como un sistema puramente físico que se sostiene a sí mismo. (ii) La considera-

ción de los organismos como sistemas físicos. (iii) La consideración de los procesos mentales como procesos cerebrales. (iv) La búsqueda de determinantes económicos de las estructuras sociales. (v) El método de pensar en base a conceptos estadísticos en vez de individuales. (vi) El pensar a base de la idea de conjunto. (vii) La búsqueda de variables cuantitativas.

7.1.5. Considerar (i) un conjunto de datos, como los que se ofrecen en una guía telefónica; (ii) un conjunto de proposiciones de cualquier nivel, relacionadas por conectivas lógicas simétricas como 'y' u 'o'; (iii) la hipótesis de los gestaltistas, según la cual el aprendizaje procede por iluminaciones repentinas de la comprensión y es muy independiente de la experiencia previa; (iv) una constitución. ¿Cuál de esos objetos –si lo es alguno de ellos– puede considerarse como una teoría, y por qué?

7.1.6. Dilucidar los conceptos de punto de vista, planteamiento y concepción en relación con el concepto de teoría. *Problema en lugar de ése*: ¿Qué es antes, la teoría o los datos? Precaución: examinar la cuestión misma, por si puede basarse en algún supuesto no asegurado.

7.1.7. Indicar casos de pasión antiteórica dominante en alguna disciplina. Indicación: manejar volúmenes recientes de revistas científicas y explicitar algunas raíces de esa actitud. Cf., por ejemplo, B. F. Skinner, "Are Theories of Learning Necessary?", *Psychological Review*, 57, 193, 1950, artículo en el cual se critica la teorización psicológica como tal incluso en la psicología fisiológica, y se caracteriza un "programa científico aceptable" mediante la recolección de datos (hallazgo de variables relevantes manipulables y, en algunos casos, establecimiento de sus relaciones, o sea, de generalizaciones empíricas). Por lo que hace al punto de vista contrario, según el cual el hacer algo sin una teoría no es experimentar científicamente, sino "mero moverse", cf. K. M. Dallenbach, "The Place of Theory in Science", *Psychological Review*, 60, 33, 1953; R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, cap. II, Glencoe, IL, Free Press, 1959. *Problema en lugar de ése*: Los físicos suelen dividirse en experimentadores y teóricos. ¿Por qué no es corriente esa división en otras ciencias?

7.1.8. T. Parsons propuso una tipología de las acciones humanas, un "marco de referencia de la acción", descrito por él como "un esquema conceptual lógicamente articulado" En esa doctrina no aparecen variables medibles ni fórmulas legaliformes propiamente dichas; además, la doctrina no pretende tratar los hechos reales, sino que se presenta como "un marco lógico para describir y pensar los fenómenos de acción" ¿Puede considerarse ese trabajo como una teoría sociológica? Cf. T. Parsons y E. Shils, *Towards a General Theory of Action*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1951. Crítica en M. Black (ed.), *The Social Theories of Talcott Parsons: A Critical Examination*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1961.

7.1.9. La teoría de las decisiones, la teoría de juegos y otras teorías modernas del comportamiento humano aparecen a menudo descritas como *normativas* o prescriptivas, y no como *descriptivas*, porque no representan el comportamiento efectivo, sino un comportamiento idealmente correcto en determinadas áreas, al modo como la lógica, que establece criterios de la inferencia deductiva, no da razón del razonamiento real de cada caso, problema que se reserva a la psicología del pensamiento. ¿Es correcta la inferencia que pasa de 'x describe un modelo ideal' a 'x es normativa'? *Problema en lugar de ése*: ¿En qué medida puede decirse que las teorías factuales son descriptivas?

7.1.10. Una entidad es, por definición, un existente real. Y algo teórico es por definición no-real. ¿Está justificado entonces el hablar de *entidades teóricas* y el subsiguiente preguntar si existen? En caso negativo, búsquese un nombre mas adecuado. *Problema en lugar de ése*: La idea de que la teoría científica no es más que una racionalización a posteriori de los datos empíricos se popularizó por F. Bacon en su *Novum Organum* de 1620, o sea, antes de que la ciencia moderna produjera teorías propiamente dichas. ¿A qué se debe el que esa filosofía de una ciencia preteórica siga a menudo considerándose como esencialmente correcta?

7.2. LA UNIDAD CONCEPTUAL

Una teoría científica es un sistema de hipótesis que se supone da una explicación aproximada de un sector de la realidad. En este momento tenemos que subrayar que una teoría es un sistema, o sea, un cuerpo unitario, y no simplemente un conjunto de fórmulas. Cf. fig. 7.3. Ahora bien: la sistematicidad o unidad de las teorías científicas es formal (sintáctica) y material (semántica).

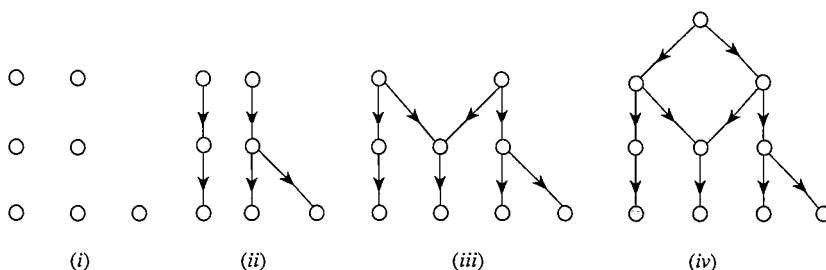


FIGURA 7.3. Diferentes grados de sistematicidad de un conjunto de fórmulas. (i) Un conjunto de fórmulas inconexas (sin sistematicidad). (ii) Dos sistemas interrelutados. (iii) y (iv) Sistemas.

La *unidad formal* de una teoría científica consiste en la existencia de relaciones lógicas entre las fórmulas de la teoría, de tal modo que ninguna fórmula quede aislada. Brevemente: la unidad formal de una teoría consiste en ser un sistema hipotético deductivo, o sea, un cuerpo cuyas partes son o bien hipótesis iniciales o bien consecuencias de ellas. En cambio, lo que puede llamarse *unidad material* de una teoría científica requiere una referencia común de sus partes, la cual se refleja en la recurrencia importante de ciertos conceptos clave. Esos conceptos están distribuidos entre las fórmulas de la teoría, de tal modo que ningún concepto específico de ella quede aislado de los demás. Así, por ejemplo, en una teoría de los electrones todas las variables refieren a electrones y a las cosas (por ejemplo, campos externos) que pueden influir en el comportamiento de los electrones —no a puentes, por tanto, ni a expectativas humanas—; y las hipótesis de la teoría no son sino relaciones entre esas variables. La referencia a objetos *externos* —o, más bien, a objetos supuestos reales *ex hypothesi*— hace posible la objetividad de las teorías, aunque no basta para ello. Y la unidad de referencia, o sea, la referencia a *un solo conjunto de objetos*, da a la teoría factual su unidad conceptual o, como también podemos decir, su *consistencia semántica*. Dicho de otro modo: toda teoría no-lógica lo es de cierto conjunto no vacío el cual, lejos de ser una colección arbitraria, se caracteriza por ciertas propiedades interrelacionadas. A las teorías lógicas no se les impone ninguna de estas condiciones de unicidad y existencia.

Antes de tratar la consistencia sintáctica hay que considerar la semántica. Pues antes de intentar establecer relaciones deductivas entre algunas de las fórmulas de un conjunto hay que averiguar si tales relaciones son posibles, y esa posibilidad depende de ciertas propiedades semánticas. Ante todo y fundamentalmente depende de una referencia co-

mún a un dado *universo del discurso* o *conjunto de referencia*. Esto puede quedar en claro mediante el siguiente contraejemplo. Consideremos las fórmulas:

Para todo x en U , Px ; o sea: $(x) (x \in U \rightarrow Px)$; o, más brevemente: $(x)_U Px$.

Para algún x en V , Qx ; o sea $(\exists x) (x \in V \& Qx)$; o, más brevemente: $(\exists x)_V Qx$.

Esas fórmulas expresan ciertas propiedades de los miembros de dos conjuntos diferentes, U y V , y no dicen nada acerca de las relaciones entre esos conjuntos. U , puede ser, por ejemplo, el conjunto de los unicornios, y V el conjunto de las voliciones. Mientras no añadamos una tercera fórmula que diga, por ejemplo, que V es parte de U , o a la inversa, no podremos estipular que las anteriores fórmulas lo son de una misma teoría, y ello simplemente porque no podremos combinarlas para deducir alguna consecuencia de ellas.

Así pues, hace falta un *común universo del discurso* o conjunto de referencia para establecer relaciones lógicas entre los miembros de un conjunto de fórmulas, en matemática o en física. (El hecho de que en el caso de las teorías abstractas, como el álgebra booleana y la teoría de grupos, o semiabstractas, como la teoría de conjuntos, no se especifique la naturaleza de los elementos del conjunto de referencia, o básico, no implica que el conjunto de referencia mismo no esté ya anticipadamente fijado. Y cuando no se indica el universo del discurso, se entiende que es un conjunto cualquiera, como en el caso de la teoría de la identidad, que vale para todo conjunto imaginable.)

Otro factor de la consistencia semántica es la condición de que los predicados de la teoría concuerdan en significación, o sea, que *pertenezcan a la misma familia semántica*. También podemos decir que los predicados de una teoría tienen que ser *semánticamente homogéneos*. Esta condición excluye automáticamente de las teorías científicas enunciados como “Los imanes son amables”, la cual es sintácticamente consistente, pero no lo es semánticamente, porque mezcla predicados heterogéneos. La exigencia de homogeneidad semántica se aplica también, desde luego, a conjuntos de fórmulas cada una de las cuales es sintáctica y semánticamente consistente. Por ejemplo, “Todo Olimpo refleja relaciones propias al grupo humano que lo produce” y “Hay infinitos números primos”, son cada una de ellas sintáctica y semánticamente consistentes, pero tomadas juntas constituyen un conjunto sin homogeneidad semántica, y no pueden, por tanto, considerarse como parte de una misma teoría.

La exigencia de homogeneidad semántica es más fácil de ejemplificar que de formular. Por eso habrá casos límite en los cuales no será fácil decidir si la heterogeneidad semántica es un simple resultado de falta de comprensión de una unidad subyacente más profunda: en última instancia, las teorías interdisciplinarias, como la bioquímica y la psicología social, han nacido por el hecho de haber unido conceptos que inicialmente pertenecían a diferentes familias semánticas. En consecuencia, el requisito de homogeneidad semántica tiene que considerarse como una guía grosera y falible. La decisión última sobre la homogeneidad o la heterogeneidad semánticas de un conjunto de predicados se basará en la existencia o inexistencia de teorías verosímiles en las que los conceptos aparezcan correlatados, y no en consideraciones semánticas puras. Sea de ello lo que fuere, el requisito de homogeneidad semántica refleja y consagra la multiplicidad y la separación de las teorías, y esto, a su vez, parece corresponder de algún modo a la independencia relativa

entre los varios aspectos del mundo. Si la realidad fuera un sólido bloque (monismo radical) o un montón de entidades totalmente heterogéneas (pluralismo radical), no sería posible agrupar propiedades en familias sin conexión o, a lo sumo, laxamente relacionadas.

Una tercera condición de la consistencia semántica es que los predicados de la teoría sean todos y sólo los que se presentan en los supuestos iniciales y en las definiciones. Llamaremos a esto la condición de *cierre semántico*. Esta condición apunta a impedir la introducción de contrabando de predicados externos al campo cubierto por la teoría, y que a veces se introducen de ese modo al nivel de los teoremas. El cierre semántico excluye la doble interpretación de un mismo símbolo que se presente en una determinada teoría —como ocurre con la distinción artificial entre masa inerte y masa gravitatoria (cf. problema 7.2.10). Más tarde (sec. 5) veremos que parte de la confusión relativa a los fundamentos de la teoría de los quanta tiene sus raíces en una violación de la condición de cierre semántico.

Si no fuera por el requisito de cierre semántico podríamos tener la tentación de proceder del siguiente modo. Supongamos que construimos una teoría, la sometemos a contrastaciones empíricas y hallamos que no las supera. Podemos intentar salvar la teoría añadiéndole supuestos *ad hoc* que contengan, por ejemplo, un predicado que designe una propiedad antes no tenida en cuenta, pero que elimina cómodamente el resultado desfavorable. Esto puede hacerse añadiendo la nueva hipótesis al conjunto de postulados, o cambiando el teorema inadecuado, t , por otro enunciado más débil pero empíricamente confirmado, $t \vee u$, en el cual u es precisamente la hipótesis *ad hoc*. (Una tal transformación es lógicamente legítima: t implica $t \vee u$, siendo u un enunciado cualquiera.) El añadido de la hipótesis *ad hoc* a los axiomas de la teoría puede rechazarse si el nuevo supuesto no tiene consecuencias contrastables independientes (cf. sec. 5.6). O sea, el truco produciría una nueva teoría diferente que podría abandonarse porque uno de sus supuestos no tiene más función que la de proteger los demás axiomas. Pero la segunda maniobra, que consiste en utilizar la regla de adición para sustituir el teorema falso t por el teorema trivialmente verdadero $t \vee u$, en el que ' u ' puede ser expresión de "Londres es la capital de la Gran Bretaña", no puede evitarse por el simple recurso a la contrastabilidad. El principio de cierre semántico impide esa maniobra. Pero no impide la adición de un enunciado formado con predicados emparentados con la teoría y que no se deriva de los supuestos iniciales de ésta. Sólo la unidad formal (sistematicidad) puede evitar esta última posibilidad.

La condición de cierre semántico no prohíbe la *exportación* de conceptos introducidos por una teoría dada: el cierre, igual que una membrana semipermeable, trabaja sólo en una dirección, impidiendo la entrada de conceptos nuevos una vez formulada la teoría, con objeto de evitar el constante reajuste de ésta a los datos o a tesis filosóficas. La difusión de conceptos básicos por toda la ciencia —proceso que refuerza la integración del conocimiento científico— no se ve en cambio obstaculizada por el principio.

Un cuarto factor de la consistencia semántica es el requisito de que los conceptos clave de la teoría estén conectados: llamaremos a eso la condición de *conexión conceptual*. Dicho de otro modo: los conceptos primitivos (o indefinidos) de la teoría tienen que distribuirse de un modo u otro entre los axiomas, de tal modo que éstos puedan ensamblarse (cf. fig. 7.4). Más precisamente, diremos que un conjunto de axiomas es *conceptualmente*

conexo si y sólo si todo par de axiomas del conjunto tiene al menos un concepto primitivo en común. Si no hay ensamblamiento de los conceptos primitivos (conexión conceptual), no hay ensamblamiento de los axiomas y si no hay ensamblamiento de los axiomas, no hay relación de deducibilidad; y si no hay deducibilidad, no hay sistema.

$$\begin{array}{ll} \text{Axioma 1 } C_1 \text{ — } C_2 & \text{Axioma 1' } C_1 \text{ — } C_2 \\ \text{Axioma 2 } C_3 \text{ — } C_4 & \text{Axioma 2' } C_2 \text{ — } C_3 \end{array}$$

FIGURA 7.4. (i) Los axiomas 1 y 2 no constituyen juntos una teoría porque los cuatro conceptos primitivos C_1 a C_4 no están distribuidos entre ellos. (ii) Los axiomas 1' y 2' satisfacen la condición de conexión conceptual: uno de los tres conceptos primitivos, C_2 , es común a los dos axiomas.

La propiedad de conexión conceptual está relacionada con la condición del conjunto de referencia común (primer requisito), pero no es idéntica con ella. En efecto: explicitando las variables individuales de un conjunto de fórmulas podemos mostrar que tienen una en común, por ejemplo, que todas contienen el término 'cuerpo'. Pero algunas de las fórmulas pueden referirse a propiedades mecánicas de los cuerpos, otras al coste de su producción, etc. Una clase de referencia común es necesaria, pero no suficiente, para asegurar la conexión conceptual. Y, a su vez, la conexión conceptual no garantiza la comunidad de universo del discurso. Así, por ejemplo, "Los gatos son independientes" y "Cuanto más independiente es una persona menos adaptada está" tienen en común el predicado 'es independiente'; pero el conjunto de referencia de la primera proposición es la clase de los gatos, mientras que el segundo enunciado refiere a personas.

Es deseable, pero no obligado, que los axiomas de una teoría sean independientes al nivel proposicional, en el sentido de que no sean indeterdeducibles (cf. sec. 6). Pero si los axiomas fueran también independientes al nivel conceptual, o sea, si ningún par de axiomas de la "teoría" tuviera conceptos primitivos en común, no sería posible ninguna deducción. La conexión conceptual es, pues, necesaria para la derivabilidad, la cual es naturalmente esencial para disponer de una teoría. La conexión conceptual es deseable para el conjunto de todas las teorías científicas de un campo determinado —por ejemplo, la psicología—, porque posibilita su enriquecimiento, su control y su apoyo recíproco. Además, la conexión conceptual del todo de la ciencia factual es un objetivo deseable en un sentido más general, aunque no puede exigirse a las teorías de que normalmente disponemos. La química se convirtió en una ciencia cuando estableció contacto con la física al importar de ella los conceptos básicos de masa y átomo, y la psicología se convirtió en una ciencia cuando tomó conceptos de la fisiología. Pero el desideratum de la conexión conceptual no debe exagerarse hasta el punto de excluir de la ciencia todos los conceptos específicos que no sean exportables de una ciencia a otra, o hasta el extremo de no usar más que conceptos genéricos como "objeto", "determina", "cambio".

Tenemos, en suma, cuatro factores de unidad conceptual, o consistencia semántica, cuya presencia conjunta es necesaria, pero no suficiente, para contar con sistemas hipotético-deductivos, o sea, con teorías. Esos factores son: (i) unicidad del universo del dis-

curso o conjunto de referencia, generalmente indicado por el nombre de la teoría (por ejemplo, Dinámica del Cuerpo Rígido), aunque puede pasarse por alto al establecer la lista de los conceptos primitivos; (ii) homogeneidad semántica (de los predicados), o sea, pertenencia a la misma familia semántica, condición típicamente violada por las teorías extravagantes; (iii) cierre semántico, o prohibición de introducir oportunísticamente predicados nuevos, a menos de dejar en claro que se está proponiendo una nueva teoría; (iv) conexión conceptual, o distribución de los predicados entre las fórmulas.

Puede preguntarse si la consistencia semántica o unidad conceptual de una teoría o grupo de teorías es simplemente una propiedad lógica o refleja en alguna manera una unidad objetivamente existente, por ejemplo, una interconexión física. El siguiente ejemplo mostrará que la consistencia semántica o unidad conceptual no refleja necesariamente una unidad física. Sean x e y las variables numéricas de conceptos cuantitativos cada uno de los cuales representa una propiedad física de una clase de sistemas; supongamos además que ambas dependen de una tercera variable, t , que se considerará como variable independiente y puede identificarse con el tiempo. Consideremos ahora el par de ecuaciones

$$x = f(t), \quad y = g(t)$$

Este par satisface las cuatro condiciones de la consistencia semántica: refiere a una determinada clase de sistemas, las tres variables son semánticamente homogéneas (son las tres variables físicas), no se ha permitido que ninguna variable nueva descienda sobre ellas como un *deus ex machina* y, por último, una de ellas, t , es común a las dos fórmulas. Sin embargo, ese conjunto de fórmulas puede no representar un sistema concreto (por ejemplo, un átomo o una economía), porque x e y no se determinan la una a la otra: efectivamente, los valores que tome x serán independientes de los que tome y , y a la inversa; x e y discurren paralelamente. De esto inferimos que la unidad conceptual no refleja necesariamente una sistematicidad física, o sea, que no es una condición suficiente de la unidad física. En cambio, un sistema de ecuaciones como

$$ax + by = f(t), \quad cx + dy = g(t)$$

representa un sistema físico si las variables incluidas representan por su parte propiedades físicas de sistemas de una determinada clase, porque en este caso x , y y t se determinan unas a otras. (Este ejemplo muestra, dicho sea de paso, que aunque la forma no determina el contenido, tiene que concordar con él.)

Hemos visto que la unidad conceptual es necesaria para asegurar la unidad formal y la deducibilidad; pero que no es suficiente. Para que se pueda deducir algo de las premisas iniciales, éstas tienen que ser *precisas* y *ricas*. No se puede deducir nada sin ambigüedad partiendo de premisas imprecisas: la imprecisión es el homólogo semántico de la contradicción, en el sentido de que una y otra llevan a una indeseable proliferación de consecuencias. Y a partir de axiomas pobres no se puede inferir sino poca cosa o nada.

Así, por ejemplo, no se puede construir ninguna geometría a partir de supuestos como “El espacio es insondable”, “El espacio es una forma de existencia”, o “El espacio es el sensorio divino”: son proposiciones demasiado imprecisas. En cambio, una modesta fór-

mula que dé la distancia entre dos puntos cualesquiera sí que es un buen candidato a axioma geométrico, a causa de su precisión y de su riqueza. Tampoco son axiomas los enunciados negativos —aunque pueden aparecer como teoremas—, y ello por la misma razón: una proposición negativa es demasiado indeterminada y, consiguientemente, poco contrastable. En cambio, una proposición afirmativa expresa un compromiso muy concreto del que la afirma y, si tiene significación factual, orienta a buscar en el mundo de los hechos el referente que pueda apoyarla o destruirla. Análogamente, una proposición como “El universo tiene el mismo aspecto siempre y en todas partes” es inútil para axioma de la cosmología, no sólo porque es más bien vaga, sino, además, porque es pobre: de hecho no es mucho más que una generalización (precipitada) de registros de observaciones. Los axiomas de la ciencia factual no son generalizaciones empíricas, sino enunciados de nivel alto que, lejos de limitarse a resumir datos, pueden explicar los datos y las generalizaciones de registros de observaciones.

Para garantizar la precisión es suficiente, aunque no estrictamente necesario, utilizar conceptos cuantitativos, como la longitud y la densidad de población. Y para garantizar la riqueza de los axiomas tendemos a maximalizar (i) el *campo de las variables*, o sea, el dominio abarcado por los cuantificadores lógicos; (ii) la *extensión* de los conceptos, y (iii) el *grado de abstracción* de los conceptos. Es obvia la efectividad del primer expediente: cuanto mayor sea el campo de una fórmula, tantos más casos quedan subsumidos por ella. Ahora bien, entre dos fórmulas con el mismo grado de generalidad —por ejemplo, dos enunciados universales—, la más rica será la que contenga los conceptos más generales. (Sobre generalidad de conceptos cf. sec. 2.3.) Así, por ejemplo, “Los hombres se reproducen a sí mismos”, “Los mamíferos se reproducen a sí mismos”, “Los vertebrados se reproducen a sí mismos” y “Los organismos se reproducen a sí mismos”, son todas proposiciones universales, pero de riqueza creciente, porque la extensión “organismo” incluye la de “vertebrado”, la de éste incluye la de “mamífero”, y esta última extensión incluye a su vez la de “hombre”. Al mismo tiempo, esos conceptos se encuentran ordenados respecto de la complejidad epistemológica o grado de abstracción: interpretando ‘<’ como “menos abstracto que”, podemos escribir

“hombre” < “mamífero” < “vertebrado” < “organismo”

Es comprensible, por dos razones, que la abstracción, o alejamiento de la experiencia inmediata, sea una fuente de riqueza para las premisas de una teoría y, por tanto, deseable. En primer lugar, si deseamos construir teorías ricas tenemos que elegir conceptos básicos que tengan *muchas relaciones* los unos con los otros, de tal modo que puedan presentarse en muchas fórmulas. Y los conceptos abstractos y extensos, como “organismo”, cumplen esta condición mejor que términos concretos y singulares como ‘leal’. En segundo lugar, si deseamos explicar la experiencia tenemos que *levantarnos por encima de ella*, analizándola a base de conceptos no experienciales. Podemos derivar hipótesis sobre cuerpos coloreados partiendo de hipótesis que contemplen moléculas sin color, pero no a la inversa. Por tanto, un predicado fenoménico como ‘rojo’ no se presentará como concepto primitivo en la química, la cual necesita en cambio construcciones hipotéticas como “átomo” entre sus conceptos primitivos. Cuanto más cercano a la experiencia es un

concepto, tanto menos apto es para entrar en los axiomas de una teoría. Ésta es una de las razones que explican por qué las teorías no están “abstraídas” de la observación. Otra razón explicativa de ese mismo hecho es que la ciencia, especialmente la física, nos enseña que los hechos de experiencia, los acontecimientos observables, son resultados macroscópicos de decenas de miles de acontecimientos microscópicos (y, por tanto, trasempíricos). Consiguientemente, la importante distinción entre propiedades primarias (físicas, objetivas) y propiedades secundarias (fenoménicas, centradas en el sujeto) no es arbitraria, y la explicación de las propiedades secundarias por las primarias arraiga en la estructura del mundo.

El carácter epistemológicamente abstracto de los conceptos básicos o primitivos de las teorías científicas es una razón de que las fórmulas de nivel bajo, como las generalizaciones empíricas, se “descubran” generalmente antes que los axiomas de los cuales pueden luego derivarse. Es, en efecto, un hecho histórico —o, más propiamente, una generalización de observaciones sobre la historia intelectual— que, considerado el proceso en grandes lapsos de tiempo, los teoremas aparecen antes que los axiomas, aunque los axiomas son lógicamente anteriores a los teoremas. La vía histórica ha sido casi siempre como sigue: (i) establecimiento de generalizaciones de bajo nivel (futuros teoremas); (ii) generalización de las anteriores (o sea, generalización de teoremas particulares); (iii) “descubrimiento” de relaciones lógicas entre teoremas conocidos; (iv) “descubrimiento” de que algunos de ellos pueden servir como axiomas, o invención de premisas de nivel más alto a partir de las cuales pueda derivarse el cuerpo del conocimiento disponible; (v) sistematización del cuerpo de conocimiento en cuestión, o sea, axiomatización (plena o parcial) y formalización en su caso. Los dos últimos estadios, la axiomatización y la formalización (cf. sección 8.3), no se alcanzan fácilmente en la ciencia factual, en parte por causa de la presión de nuevos problemas sustantivos, y en parte porque se subestima la importancia de la axiomatización y la formalización, tal vez por no darse cuenta de que un pensamiento claro acerca de hechos conocidos y viejas ideas no es inferior al pensamiento confuso sobre el descubrimiento más reciente.

La tendencia histórica, que va de lo particular a lo general y de lo concreto y empírico a lo trasempírico, es exactamente la inversa del orden lógico. He aquí una primera consecuencia: los especialistas del análisis lógico de los resultados últimos de la investigación no suelen tener sensibilidad para captar la elaboración real de la ciencia y, a la inversa, los historiadores de la ciencia son pocas veces conscientes de las peculiaridades lógicas y epistemológicas de las teorías científicas. Otra consecuencia: los axiomas, contra lo que creía la tradición aristotélica, no son más autoevidentes que la mayoría de los teoremas que implican, sino mucho menos que éstos. Por culpa de esa tradición se usa abusivamente ‘axiomático’ como sinónimo de ‘autoevidente’. Quien sienta la menor duda acerca de lo que acaba de decirse la superará echando una mirada a los axiomas o supuestos básicos de cualquier teoría progresada actual. He aquí una tercera consecuencia: en el proceso de construcción de la teoría científica la búsqueda de axiomas tiene principalmente —pero no únicamente— el control de las hipótesis disponibles de bajo nivel, las cuales tienen que quedar implicadas, al menos aproximadamente, por los axiomas. Sólo las teorías matemáticas abstractas se construyen frecuentemente sin fórmulas más débiles preexistentes; pero incluso en este caso las fórmulas ya conocidas actúan como moti-

vaciones o como controles de las más fuertes. No obstante, los fines no suministran medios: las hipótesis de bajo nivel que tiene que dar de sí la teoría no pueden sugerir inequívocamente los axiomas. Siempre hay que inventar los axiomas; no son creaciones *libres*, porque se encuentran bajo el control de las hipótesis de nivel inferior, pero son sin duda *creaciones*.

En resolución: los conceptos primitivos de una teoría científica tienen que ser tan precisos y tan ricos cuanto sea posible, y las fórmulas primitivas (axiomas) de la teoría tienen que ser semánticamente consistentes, es decir, deben constituir un todo conceptual unificado. Ahora podemos estudiar la forma lógica o estructura de las teorías.

Problemas

7.2.1. Examinar la regla según la cual los axiomas de una ciencia son autoevidentes. ¿Es coherente esta exigencia con el programa de explicar lo experienciable sobre la base de lo que no lo es, pero se supone ocurre objetivamente?

7.2.2. Si los axiomas de una teoría no tienen por qué ser autoevidentes ¿pueden ser arbitrarios? Dicho de otro modo: ¿No está determinada por nada (es indeterminada) la elección de los axiomas, como no sea, acaso, por el gusto?

7.2.3. Examinar la caracterización de los axiomas como verdades iniciales. ¿Es correcta esa caracterización respecto de (i) la ciencia formal y (ii) la ciencia factual?

7.2.4. Examinar la difundida opinión de que los conceptos primitivos de una teoría tienen que ser conceptos bien entendidos, a ser posible tomados del conocimiento ordinario, como sería el caso de los conceptos de espacio y tiempo. *Problema en lugar de ése*: Examinar la regla según la cual los conceptos primitivos de una teoría deben ser conceptos definidos observacionalmente y, en particular, “operativa” u operacionalmente. (Sobre “definiciones” operacionales cf. sec. 3.6).

7.2.5. ¿Es deseable, o posible al menos, para una teoría científica dada el ser una “isla en sí misma”? Y, pasando al otro extremo: ¿es deseable, o al menos posible, una teoría científica universal, una teoría científica de la realidad que sirva para todos los fines?

7.2.6. Si no existieran más que fenómenos (hechos observables), o sea, si el mundo no estuviera en gran parte oculto a los sentidos, ¿seguiríamos utilizando conceptos trasempíricos? Dicho de otro modo: las construcciones teóricas, ¿son necesarias sólo porque hay entidades imperceptibles (por ejemplo, atómicas), o por alguna otra razón además?

7.2.7. Dilucidar ulteriormente el concepto de conexión conceptual de una teoría, concepto esbozado en el texto. *Problema en lugar de ése*: ¿Cómo se relaciona la unidad conceptual con el papel de la parsimonia en la introducción de hipótesis *ad hoc*? Recordar la sección 5.6.

7.2.8. Tomar cualquier par de variables dependientes del tiempo, como la intensidad de la luz y el producto de la cosecha. Puede eliminarse el tiempo entre las dos relaciones para conseguir una relación directa entre las dos variables. ¿Representará eso un sistema? *Problema en lugar de ése*: Formular las tesis del monismo y el pluralismo sobre la base del concepto de familias de predicados semánticamente homogéneos. Sobre el monismo y el pluralismo cf., por ejemplo, W. James, *Essays in Radical Empiricism*, y *A Pluralistic Universe*, 1909; Nueva York, Longmans, Green, 1958.

7.2.9. Dilucidar el concepto de riqueza de una proposición y relacionarlo con el concepto de fuerza lógica tratado en la sección 5.7. Tener en cuenta que mientras que la fuerza lógica es una propiedad sintáctica (o sea, formal), la riqueza es tanto sintáctica cuanto semántica.

7.2.10. La mecánica newtoniana y la teoría de la gravitación utilizan un solo concepto de masa;

pero la masa se presenta en algunos términos de las ecuaciones como coeficiente de aceleración, y en otros como factor de la fuerza gravitatoria. Por ejemplo, la ecuación del movimiento de un cuerpo que se mueve en un campo gravitatorio homogéneo de intensidad g es:

$$ma = mg,$$

mientras que, si el campo es eléctrico, la ley es:

$$ma = eE.$$

En el primer caso eliminamos m y simplificamos para obtener: $a = g$. Esta operación, típica para el campo gravitatorio, no es posible en el segundo caso. Esta circunstancia sugirió a E. Mach la idea de que hay realmente dos clases de masa: la *masa inerte* (que se presenta como un coeficiente de la aceleración) y la *masa gravitatoria* (que se presenta como un factor de la fuerza gravitatoria). Pero la distinción no aparece ni en la teoría clásica de la gravitación ni en la relativista. La exige, sin embargo, el operativismo, y por eso se recoge en los libros de texto. En efecto: hay esencialmente dos clases de procedimientos para *medir* los valores de las masas; el uno no utiliza la gravitación (por ejemplo, escalas de muelles) y el otro sí (escalas de pesos). ¿Está de acuerdo la distinción entre los dos tipos de masas con la condición de cierre semántico? *Problema en lugar de éste*: Dilucidar el concepto de *teoría no trivial* sobre la base de las clases de objeto (universo del discurso) y de los problemas que puede tratar una teoría. Recordar la historia del prometededor matemático que gastó años en la construcción de una complicada teoría matemática sin preguntarse siquiera a qué podía referirse (aplicarse). Al final alguien descubrió que la teoría en cuestión no se aplicaba sino a (no era satisfecha más que por) constantes, o sea, por el tipo más trivial de funciones. Adivinar lo que ocurrió. Y tener también en cuenta que, en principio, todo campo de hechos —por ejemplo, el fútbol— puede convertirse en tema de una teoría.

7.3. DEDUCIBILIDAD

Para estudiar la relación de deducibilidad es conveniente atender a cómo funciona en las teorías axiomáticas, porque éstas son las mejor organizadas. Una *teoría axiomática* puede representarse como un tejido que cuelga de sus supuestos iniciales (cf. fig. 7.1). Estos supuestos son un manojo de fórmulas relativamente ricas y precisas (proposiciones y/o funciones proposicionales), llamadas axiomas o postulados, que satisfacen la condición de unidad conceptual (cf. 7.2). Por debajo de los axiomas se encuentran todas las demás hipótesis de la teoría; que se llaman teoremas de la misma aunque ésta tenga contenido factual, pues el término 'teorema', igual que el término 'axioma', indica un estatuto lógico con independencia del contenido.

En una teoría completamente axiomatizada todos los teoremas pueden derivarse de los supuestos iniciales por medios puramente formales (lógicos o matemáticos), o sea, mediante la aplicación de las reglas de la inferencia deductiva. Dicho de otro modo: dados los axiomas de la teoría y las reglas de inferencia presupuestas por la teoría (o sea, los subyacentes sistemas de lógica y matemática), todos los teoremas quedan unívocamente

determinados, aunque ninguno de ellos se haya derivado aún efectivamente. La predeterminación lógica es la única efectiva, y es peculiar a las teorías axiomáticas.

En la ciencia formal un *axioma* o postulado es un supuesto no demostrado cuya función consiste en permitir la demostración de otras fórmulas de la teoría. En la ciencia factual un axioma es también una fórmula sin demostrar y sirve para demostrar otros enunciados, pero su introducción está justificada en la medida en que esos otros enunciados (las teorías) quedan convalidados de un modo u otro por la experiencia. La tarea más ambiciosa que puede plantearse un teórico es la de inventar un conjunto axiomático para cubrir totalmente un campo dado de conocimiento. (Otra cuestión es la de si ese objetivo puede alcanzarse íntegramente.) Ninguna acumulación de datos observacionales, por enorme que sea, le solucionará esa tarea: la información empírica es precisamente lo que él desea explicar, y, por tanto, aunque funcionará como estímulo y como control de la construcción de teorías, no podrá ser nunca ni su fuente ni siquiera su guía (cf. sec. 7.2). Todo lo que puede hacer el teórico para inventar una buena teoría es explotar al máximo lo que le suministre su herencia genética y cultural (cf. sec. 8.1, que amplía esto).

Una vez establecidos los axiomas de la teoría, el teórico puede (i) derivar de ellos nuevos teoremas, o (ii) establecer conexiones con otros campos de la investigación, o (iii) intentar modificar algunos de los axiomas, con objeto de obtener un sistema más compacto, o más económico, o más rico; o bien puede (iv) intentar especificar la significación factual y/o empírica de los axiomas, si la tienen. A la inversa, dado un conjunto de resultados parciales más o menos inconexos de la investigación (como, por ejemplo, las varias generalizaciones referentes a la estructura nuclear, antes de introducirse el modelo actual), la tarea del teórico consistirá en introducir (inventar) una base axiomática a partir de la cual aquellos resultados puedan derivarse, o sea, convertirse en teoremas. Una vez inventada una tal base, puede esperarse que resulten derivables nuevas proposiciones antes desconocidas. (Si los axiomas existieran por sí mismos en un platónico reino de las ideas, o si cualquier fórmula sugiriera por sí misma el conjunto de postulados a partir del cual puede derivarse, podríamos hablar de *descubrimiento* de axiomas. Pero como los axiomas no están ya confeccionados y listos para llevar, ni están nunca unívocamente determinados por las preexistentes fórmulas de nivel inferior, no debemos vacilar en hablar de *invención* o *creación* de axiomas.)

En toda teoría puede apreciarse un grupo de axiomas o fórmulas del nivel más alto, pero no toda teoría es axiomática, autocontenida. Por de pronto, ninguna teoría factual es plenamente axiomática y, como veremos dentro de poco, la axiomatización no agota el contenido de una teoría factual. La razón de esa imposibilidad es que las teorías factuales tienen que ser *abiertas a la experiencia*. Más precisamente: las teorías factuales no pueden prescindir de proposiciones singulares (datos) que no se encuentran entre los axiomas ni son lógicamente derivables de ellos. Y no serviría para nada el colocar esa información empírica entre los axiomas de la teoría: primero, porque no implican nada interesante; segundo, porque los datos constituyen un *conjunto abierto*, y, por así decirlo, un conjunto vivo, puesto que crece y se mantiene joven mediante la sustitución de elementos informativos caducados por otros nuevos y más precisos. Por otro lado, si se cambia o añade un axioma se produce una teoría nueva. Lo mismo prácticamente vale por lo que hace a los supuestos auxiliares (por ejemplo, las hipótesis simplificadoras) que se añaden.

den oportunísticamente a los axiomas cada vez que la teoría se aplica a un caso particular. Como los datos y los supuestos auxiliares son indispensables para la derivación de enunciados singulares, y como estos últimos son los que pueden compararse con la experiencia, tenemos que admitirlos en nuestras teorías; pero como los datos y los supuestos auxiliares no son ni axiomas ni teoremas, no pueden pertenecer al núcleo axiomático de las teorías. Dicho de otro modo: las teorías factuales no pueden axiomatizarse plenamente.

Las premisas de una teoría factual son de algunas de las clases siguientes: (i) *supuestos iniciales*, o axiomas, y (ii) *premisas subsidiarias*, como las hipótesis especiales, los lemas y los datos. Deben llamarse *lemas* las hipótesis demostradas como teoremas en otras teorías y tomadas en préstamo de ellas; se presentan frecuentemente en las deducciones propias de la ciencia factual. Así, por ejemplo, un cálculo realizado en fisiología puede exigir la introducción de fórmulas del análisis matemático y de la mecánica. Y algunas hipótesis especiales, así como informaciones particulares, son naturalmente necesarias para explicar y prever con la ayuda de una teoría. Por ejemplo, si deseamos prever lo que ocurrirá a un individuo particular en circunstancias dadas, necesitamos información específica acerca del individuo y acerca de las circunstancias.

Las premisas subsidiarias (hipótesis especiales, lemas, datos) no se introducen, ni pueden introducirse, en la lista inicial de supuestos de una teoría, sino que se añaden a medida que se necesitan para inferencias. No se limita el número de premisas subsidiarias en una teoría no axiomática: es lícito tomarlas de cualquier campo, mientras satisfagan los requisitos de cierre y homogeneidad semánticos (cf. sec. 2), o sea, con la condición de que no introduzcan elementos ajenos y que hagan expedita la inferencia. Aparte de eso, en el trabajo con sistemas hipotético-deductivos impera la mayor libertad en cuanto a la introducción de premisas relevantes: pero ello mientras esos sistemas no estén plenamente axiomatizados, esto es, mientras no sean autocontenidos o cerrados.

Esta libertad de inventar premisas auxiliares y de usar datos empíricos se termina en el momento en que exponemos un conjunto fijo de supuestos iniciales para construir un sistema *plenamente axiomatizado*, esto es, un sistema hipotético-deductivo cuyas únicas hipótesis son las inicialmente dadas. De hecho, puesto que un sistema axiomático no consta más que de un conjunto de axiomas y de sus consecuencias lógicas no admite premisas subsidiarias (hipótesis especiales, lemas, datos) de las que suelen añadirse sobre la marcha cuando se utiliza una teoría factual para resolver un problema específico. Se sigue de esto que sólo una parte —el cuerpo general, o *núcleo*— de las teorías científicas factuales es axiomatizable. Y también se sigue que en cuanto que una teoría axiomática se aplica a un problema específico, como el cálculo de una previsión, hay que romper su concha axiomática, para que penetren en ella más premisas. Las teorías estrictamente axiomáticas son importantes en la ciencia factual para la investigación de fundamentos, pero es imposible trabajar sólo con ellas, precisamente porque son sistemas cerrados. En la práctica son preferibles las teorías *semiaxiomáticas*, o sea, teorías que tienen un núcleo axiomatizado y permiten la introducción de premisas subsidiarias. En resumen:

<i>Fórmulas de Teorías Axiomáticas</i>	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Axiomas y} \\ \text{Definiciones} \\ \text{Teoremas} \end{array} \right.$	<i>Fórmulas de Teorías no Axiomáticas</i>	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Premisas} \\ \text{Teoremas} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Axiomas y} \\ \text{Definiciones} \\ \text{Premisas} \\ \text{subsidiarias} \end{array} \right.$
--	---	---	---	--

Ahora que hemos mostrado las ventajas y las limitaciones de la axiomatización, podemos considerar más de cerca la relación de consecuencia lógica. Cuando una fórmula t sea derivable de un conjunto de supuestos A por medio de la(s) regla(s) R , escribiremos:

$$A \vdash_R t. \text{ (El signo '}\vdash\text{'}$$

no designa un operador que, aplicado a los supuestos A , diera la consecuencia lógica o teorema t ; pues, dado A , hay normalmente infinitos t tales que $A \vdash t$.)

La relación

$$\vdash_R$$

se especifica enumerando las reglas de inferencia admitidas por la teoría; dicho de otro modo: especificar la relación de inferencia

$$\vdash_R$$

equivale a mencionar la lógica y la matemática subyacentes a la teoría. Como por lo general las teorías factuales presuponen la lógica *ordinaria* (lógica de dos valores) y las teorías matemáticas que la respetan, podemos prescindir de la mención explícita de la(s) regla(s), simplificando la anterior fórmula, escribiendo ' $A \vdash t$ ', que puede leerse: 'De A se infiere t ', o ' A implica lógicamente t ', lo cual no debe confundirse con ' A implica (materialmente) t ', o sea, con ' $A \rightarrow t$ '. La implicación lógica, el cemento que mantiene juntas las fórmulas de una teoría, es más fuerte que la implicación material: Si $A \vdash t$, entonces $A \rightarrow t$, pero no a la inversa. (Generalizado a un conjunto $\{S, A\}$: Si $\{S, A\} \vdash t$, entonces $S \vdash A \rightarrow t$.) Por eso una estrategia corriente para demostrar enunciados condicionales es intentar demostrar que el antecedente implica lógicamente el consecuente.

Es claro que la afirmación de A —o su mera formulación hipotética, por lo que hace a esta argumentación— nos obliga (lógicamente) a aceptar la(s) consecuencia(s) t de A : si A implica lógicamente t , entonces es incoherente afirmar a la vez A y $\neg t$. Dicho de otro modo: independientemente del valor veritativo de A (que puede ser desconocido), la conjunción $A \& \neg t$ es lógicamente falsa. Consiguientemente, su negación, o sea, $\neg(A \& \neg t)$, es lógicamente verdadera. Ahora bien: es fácil mostrar (asignando valores veritativos a A y t) que $\neg(A \& \neg t)$ es lo mismo que $A \rightarrow t$. Por tanto, decir que A implica lógicamente t es lo mismo que decir que $A \rightarrow t$ es lógicamente verdadero, o también que $A \rightarrow t$ es un *condicional analítico*, no meramente un condicional contingente, o sea, un condicional que pudiera ser o no ser verdadero según la correspondencia de A con los hechos.

*He aquí otras tres formulaciones de la misma idea (el llamado *teorema de deduc-*

ción). (i) Condición necesaria y suficiente de que una fórmula A implique lógicamente t es que el condicional " $A \rightarrow t$ " pertenezca al conjunto L de las fórmulas lógicas o identidades lógicas. Brevemente: $A \vdash t \text{ csf } (A \rightarrow t \in L)$. (ii) Extensión a un conjunto de premisas: Condición necesaria y suficiente de que un conjunto de supuestos $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ tenga la consecuencia lógica t es que A contenga un subconjunto $A' = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$, con $k \leq n$, tal que $[(A_1 \& A_2 \& \dots \& A_k) \rightarrow t] \in L$. (iii) Lo mismo, escrito con aplicación de la regla de exportación: Condición necesaria y suficiente de que un conjunto de supuestos $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ tenga la consecuencia lógica t es que A contenga un subconjunto $A' = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$, con $k \leq n$, tal que $[A_1 \rightarrow (A_2 \rightarrow (\dots \rightarrow (A_k \rightarrow t) \dots))] \in L$.*

Desde un punto de vista puramente formal, *demostrar, probar y deducir* son lo mismo: si deducimos t de A con la ayuda de la(s) regla(s) R , demostramos o probamos t en el sistema basado en A y R . (Obsérvese la relatividad de la demostración al sistema.) Pero si resulta que A es la base de una teoría factual, la demostración de t por A y R no prueba que t sea *verdadera* respecto de los hechos. Todo lo que aquella demostración muestra es que si A es (o fuera) verdadera y R es (o fuera) el conjunto de reglas adoptado, entonces t se sigue necesariamente (o se seguiría necesariamente). La validez de la *argumentación* que lleva de A a t por R es lo único que se establece: no la verdad de t . Hay que tener esto en cuenta por lo que hace a las teorías matemáticas de la ciencia factual, para evitar el tomar una demostración matemática de un enunciado factual por la convalidación empírica de éste.

Hasta el momento hemos clasificado las fórmulas de una teoría axiomática en supuestos iniciales (axiomas) y sus consecuencias lógicas (teoremas); y hemos unido tácitamente las definiciones con los axiomas por el hecho de que ellas también son puestas, no derivadas. Pero no todos los axiomas de una teoría tienen la misma importancia, ni todos sus teoremas son del mismo nivel. En la mayor parte de las teorías hay un pequeño subconjunto de supuestos iniciales, y a menudo un solo axioma, que pueden considerarse esenciales o *centrales*. Según eso, si se cambian los axiomas periféricos manteniendo el (los) central(es) no solemos hablar de teorías diferentes —pese a que sin duda lo son—, sino más bien de formulaciones o *versiones* diferentes de una misma teoría. Así, por ejemplo, el axioma central de la teoría elemental de la probabilidad es: "Si A y B son disyuntos, entonces la probabilidad de la unión de A y B es igual a la suma de las probabilidades de A y B " (cf. sec. 7.5). Los demás axiomas pueden cambiarse sin afectar esencialmente a la teoría, puesto que su función principal consiste en fijar el campo $[0,1]$, el cual es completamente convencional. Análogamente, el axioma central de la mecánica newtoniana es la fórmula $\text{Fuerza} = \text{Masa} \times \text{Aceleración}$."

Por lo que hace a los teoremas de una teoría, su importancia relativa depende de muchos factores. Pero hay una dicotomía que se aplica universalmente porque es de naturaleza lógica: a saber, la división de las consecuencias lógicas en teoremas generales, o *teoremas* sin más, y *casos* o ejemplos de ellos. Un caso del teorema " $s(t) = 1/2 gt^2$ " es: " $s(10) = 1/2 \cdot 981 \cdot 10^2$ ". Un teorema tiene un número *ilimitado* de casos. Esos casos, y no el teorema, son los que pueden referirse a hechos singulares. (En parte por esta razón los casos de teoremas se llaman a veces *hechos*. Pero ése es un nombre poco adecuado en cualquier filosofía, salvo en el idealismo, porque suprime la diferencia entre la idea y su referente.) Los teoremas de una teoría factual desempeñan una función inferencial,

además de salvar el abismo entre los axiomas de nivel alto y las proposiciones singulares cercanas a la experiencia. Efectivamente, incluso en la teoría axiomatizada los supuestos iniciales A son insuficientes para la derivación de todas sus consecuencias. El procedimiento usual es como sigue. Primero se derivan las consecuencias inmediatas o corolarios de los axiomas A ; por ejemplo, del axioma " $p \rightarrow p \vee q$ " el corolario " $p \rightarrow p \vee p$ " se obtiene inmediatamente. Luego se deriva algún teorema fuerte o importante, t_1 , que se usa a continuación en conjunción con A para derivar otras consecuencias; y así sucesivamente. Dicho de otro modo: todo nuevo teorema puede añadirse a la base A , la cual, así enriquecida, permite la derivación de más consecuencias. Por ejemplo, una vez obtenido t_1 , podremos obtener algún teorema $t_1 \rightarrow t_2$ mediante A y t_1 ; luego, por el *modus ponens*, separamos t_2 .

Atendamos ahora a las teorías como *todos*, o sea, como conjuntos ordenados por la relación de consecuencia lógica. Todo miembro de una teoría científica es una función proposicional (cuantificada o sin cuantificar) de alguna clase; por tanto, toda teoría científica es un *conjunto estructurado de fórmulas* que, aparte de su propio contenido, caen bajo el dominio de la rama de la lógica llamada cálculo funcional o *cálculo de predicados* (con identidad), abreviado *CP*. La frase 'con identidad' significa que el *CP* se amplía para incluir la teoría de la identidad, la cual es más bien trivial, pero importante, y especifica la significación de '='. Cualquier conjunto de fórmulas del cálculo de predicados, junto con la relación de deducción o inferencia $\vdash$, constituye una *teoría T*. Simbólicamente:

$$T = \langle F, \vdash \rangle, \text{ con } F \subset CP = \quad [7.1]$$

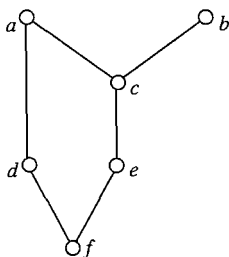
Las deducciones practicadas en el conjunto F no producen ninguna fórmula nueva, esto es, ninguna fórmula que no pertenezca al conjunto F . Dicho de otro modo: el conjunto F de fórmulas de una teoría es *cerrado respecto de la deducción*. (Análogamente, el conjunto de los enteros no negativos es cerrado respecto de la adición, pero no respecto de la sustracción, que puede producir enteros negativos.) Así, pues, desde un punto de vista lógico una teoría, científica o no, puede caracterizarse por la siguiente *Definición*: Una *teoría* es un conjunto de fórmulas del cálculo de predicados (con identidad) cerrado respecto de la deducción en ese cálculo. (Suele añadirse la restricción de que el cálculo de predicados sea precisamente de primer orden, o sea, que no trate más propiedades que las de individuos. No recogemos esa restricción porque en la ciencia necesitamos funciones de orden superior, como "es una variable dinámica", y cuantificaciones de predicados, como "para todas las fuerzas".)

*He aquí una definición equivalente. F es una *teoría* o un sistema deductivo si y sólo si

D1 Si p y $p \rightarrow q$ pertenecen a F , entonces q pertenece a F , para todo p y todo q .

D2 Si p y q pertenecen a F , entonces $p \& q$ pertenece a F , para todo p y todo q .

FIGURA 7.5. Un filtro de base $B = \{a, b\}$. El elemento c es el límite inferior máximo de a y b , o sea: $c = a \cap b$; y f es el límite inferior máximo de d y e , pero también inferior máximo de d y f y de e y f .



Un tal conjunto es un ejemplo de *filtro*, estructura algebraica muy general (cf. fig. 7.5). En general, dado un conjunto parcialmente ordenado, P , o sea, un sistema constituido por un conjunto abstracto y por la relación abstracta $\leq$ en él, si F es un subconjunto no vacío de P , entonces F es un *filtro* si y sólo si

- $F1$ Si x pertenece a F y x precede a y , entonces y pertenece a F , para todo x y todo y .
- $F2$ El límite inferior máximo de dos miembros cualesquiera de F pertenece a F .
- $F3$ El conjunto vacío no está incluido en F .

Si P se interpreta entonces como un conjunto de fórmulas (por ejemplo, funciones proposicionales), $\leq$ como la implicación lógica, y el límite inferior máximo como la conjunción, puede demostrarse que todo filtro no vacío es un sistema deductivo, y a la inversa. El estudio de la estructura de las teorías (sistemas deductivos) queda así recogido por el álgebra abstracta.*

Las anteriores definiciones se aplican a cualquier teoría, axiomatizada o no. Distingamos ahora, dentro del conjunto F de las fórmulas de una teoría, el subconjunto A de sus supuestos iniciales o axiomas, y prescribamos que no se introducirán más premisas que las que constituyan la base A ; o sea: consideremos el caso especial de las teorías *axiomáticas*. El conjunto axiomático A , o *base* de la teoría, es enumerable y generalmente —aunque no siempre— finito. (Si la base de una teoría es un conjunto finito —o sea, si los supuestos iniciales son en número finito— se dice que la teoría es *finitísticamente axiomatizable*.) Llamaremos $Cn(A)$ al conjunto infinito de todas las consecuencias lógicas, o teoremas y ejemplos de ellos, derivables de A . Como toda fórmula se implica a sí misma (o sea, como la relación $\vdash$ es reflexiva), $Cn(A)$ contiene a A . Dicho de otro modo: $Cn(A)$ es el conjunto de los supuestos iniciales más todas sus consecuencias, o sea, el conjunto de los axiomas y los teoremas. En resolución: $Cn(A)$ es el conjunto F de todas las fórmulas de la teoría basada en A :

$$F = Cn(A) \quad [7.2]$$

(También $F = Cn(F)$, lo que quiere decir que una teoría axiomática contiene todas sus consecuencias, o sea, que es deductivamente cerrada.) Podemos según eso adoptar la

siguiente *Definición*: Una *teoría axiomática* de base A es el conjunto de todas las consecuencias lógicas de A .

El caso más sencillo se presenta cuando no hay ningún supuesto, o sea, cuando la base de la teoría es el conjunto vacío $\emptyset$. Si nos preguntamos ¿Qué se sigue de nada?, la respuesta correcta, aunque nada intuitiva, es lo que se sigue de nada es la lógica ordinaria. Esto es: no hay supuestos a partir de los cuales se siga la lógica; o, como también puede decirse, nada precede (lógicamente) a la lógica; otra manera de decir lo mismo: la lógica es autocontenida. (Con esto queda probada la autonomía de la lógica; cf. sec. 5.9.) Esto puede escribirse brevemente así:

$$Cn(\emptyset) = L, \quad \text{o} \quad \emptyset \vdash L \quad [7.3]$$

El dual de este teorema es: De supuestos lógicamente falsos se sigue cualquier cosa. O sea: el conjunto U de todas las fórmulas se sigue de todo conjunto unidad $\{A\}$ tal que la negación de A sea lógicamente verdadera:

$$\text{Si } \neg A \in L, \text{ entonces } Cn(A) = U \quad [7.4]$$

He aquí una primera moraleja: huir de fórmulas que puedan explicarlo todo, en el campo dado y en cualquier otro. Segunda: no reforzar los supuestos a toda costa. (En la sec. 5.7 puede verse algo acerca de las limitaciones de la fuerza lógica.)

¿Qué puede derivarse de un conjunto unidad $A = \{e\}$, constituido por una proposición fáctica simple (atómica), como, por ejemplo, el registro de una observación empírica? Obviamente puede deducirse la propia e ; y, además, el condicional inútil $h \rightarrow e$, en el cual h es un enunciado cualquiera, o sea, no determinado por e . Esto quiere decir que los elementos de información aislados son deductivamente estériles. Tomemos ahora un conjunto N de evidencias empíricas $\{e_i\}$ como base. Sólo podremos derivar conjunciones y disyunciones triviales de esas evidencias, así como condicionales indeterminados $h_i \rightarrow e_i$. Y así podemos seguir amontonando simples proposiciones de nivel bajo sin sacar nada en limpio teóricamente: un conjunto de informaciones lógicamente aisladas, por precisas y numerosas que sean, está tan lejos de ser una teoría como pueda estarlo una colección de chismes. Un conjunto de supuestos no puede empezar a dar de sí consecuencias lógicas –y, por tanto, demostraciones– más que si esos supuestos trascienden los datos. En este caso, un solo supuesto inicial –siempre que sea rico (cf. sec. 2)– puede implicar infinitas consecuencias lógicas. En resolución: *los datos no producen teorías*.

La base A más simple posible, pero ya relevante, consta de un condicional y su antecedente, o la negación de su consecuente. En estos casos las consecuencias lógicas inmediatas son:

$$A_1 = \{ p, p \rightarrow q \} \vdash q \text{ (Modus ponens)} \quad [7.5]$$

$$A_2 = \{ \neg q, p \rightarrow q \} \vdash \neg p \text{ (Modus tollens)} \quad [7.6]$$

*Esas consecuencias inmediatas no agotan en modo alguno todas las deducciones a partir de los axiomas dados. Para obtener la clase entera $Cn(A)$ de las consecuencias de

A , es decir, el entero conjunto F de las fórmulas de una teoría de base A , podemos aplicar la siguiente *Regla*: Componer conjuntivamente los supuestos y desarrollar el resultado en una conjunción de disyunciones (o sea, ponerlo en forma normal conjuntiva). Cada miembro y cada conjunción de miembros será una consecuencia lógica de los axiomas dados. En el caso de [7.5] tenemos la cadena:

$$\begin{aligned} [p \& (p \rightarrow q)] &\leftrightarrow [p \& (-p \vee q)] \\ [p \& (-p \vee q)] &\leftrightarrow [p \vee (q \& -q)] \& (-p \vee q) \\ [p \& (q \vee -q)] \& (-p \vee q) &\leftrightarrow (p \vee q) \& (p \vee -q) \& (-p \vee q), \end{aligned}$$

de donde:

$$F_1 = Cn(A_1) = \{p \vee q, p \vee -q, -p \vee q, (p \vee q) \& (p \vee -q), (p \vee q) \& (-p \vee q), (p \vee -q) \& (-p \vee q), (p \vee q) \& (p \vee -q) \& (-p \vee q)\}$$

Mas como

$$\begin{aligned} (-p \vee q) &\leftrightarrow (p \rightarrow q), \\ (p \vee q) \& (p \vee -q) &\leftrightarrow (p \vee (q \& -q) \leftrightarrow p), \\ (p \vee q) \& (-p \vee q) &\leftrightarrow (p \& -p) \vee q \leftrightarrow q, \\ (p \vee -q) \& (-p \vee q) &\leftrightarrow (p \leftrightarrow q), \\ (p \vee q) \& (p \vee -q) \& (-p \vee q) &\leftrightarrow [(p \vee q) \& (p \vee -q)] \& \\ &\& [(p \vee q) \& (-p \vee q)] \leftrightarrow p \& q, \end{aligned}$$

tenemos finalmente la familia mínima iniciada por A_1 :

$$F_1 = Cn(A_1) = p, p \rightarrow q; q, p \& q, p \vee q, p \vee -q, p \leftrightarrow q \quad [7.7]$$

como suma total de las fórmulas de la microteoría de base $A = \{p, p \rightarrow q\}$. Análogamente para 7.6:

$$[-q \& (p \rightarrow q)] \leftrightarrow [(-q \vee p) \& (-q \vee -p) \& (-p \vee q)]$$

de donde

$$\begin{aligned} F_2 = Cn(A_2) = \{p \vee -q, -p \vee q, -p \vee -q, (p \vee -q) \& (-p \vee q), \\ (p \vee -q) \& (-p \vee -q), (-p \vee q) \& (-p \vee -q), \\ (p \vee -q) \& (-p \vee q) \& (-p \vee -q)\}. \end{aligned}$$

Aplicando conocidas equivalencias, obtenemos por último:

$$F_2 = Cn(A_2) = \{-q, p \rightarrow q; -p, -p \& -q, p \vee q, -p \vee -q, p \rightarrow q\}. \quad [7.8]$$

*En realidad F_1 y F_2 son los conjuntos *más pequeños* de consecuencias lógicas distintas de las bases de dos miembros A_1 y A_2 : mediante ampliaciones repetidas de la regla

de adición (" p implica $p \vee q$ ") pueden introducirse en el sistema proposiciones cualesquiera, $r, s, t, \dots$, y el sistema mismo puede entonces ampliarse en conjuntos infinitos. Pero este crecimiento chocará con los principios de homogeneidad y cierre semánticos (cf. sec. 2), los cuales eliminarán a las recién llegadas que no estén emparentadas con la base inicial. Esta regla de endogamia limitará efectivamente la dimensión del conjunto de fórmulas, pero la presencia de conceptos cuantitativos en cualquiera de los supuestos iniciales de la teoría bastará para dar infinitas consecuencias lógicas, puesto que algunos teoremas tendrán infinitos ejemplos.

*Formulemos dos sencillos teoremas del *cálculo de los sistemas axiomatizables* (A. Tarski). Sean A_1 y A_2 dos bases axiomáticas, y $F_1 = Cn(A_1)$, $F_2 = Cn(A_2)$ los correspondientes conjuntos de fórmulas, o sea, los correspondientes sistemas deductivos. Entonces pueden demostrarse los siguientes teoremas:

Teorema 1. $F_1 \subset F_2$, o sea, $Cn(A_1) \subset Cn(A_2)$, si y sólo si $A_1 \rightarrow A_2$ [7.9]

En lenguaje algebraico: Un filtro F_2 de base A_2 es más *fino* que un filtro F_1 de base A_1 si y sólo si todo miembro de A_1 se sigue de un elemento de A_2 .

En expresión más común: Es una condición necesaria y suficiente para que una teoría incluya otra teoría que la base axiomática de la primera implique la base axiomática de la segunda. Se dice entonces que A_2 es una *extensión* de A_1 , o, en el mismo sentido, que F_1 es una *subteoría* de F_2 . Por ejemplo, la mecánica de un solo punto de masa está incluida en la mecánica de un sistema de puntos de masa en interacción, cuya base difiere de la primera esencialmente por el añadido del axioma de la igualdad de acción y reacción.

Teorema 2. $F_1 = F_2$, o sea, $Cn(A_1) = Cn(A_2)$, si y sólo si $A_1 \rightarrow A_2$ [7.10]

En general, dos bases de filtros son *equivalentes* si y sólo si producen el mismo filtro. Dicho de modo más común: Es una condición necesaria y suficiente de la equivalencia de dos teorías que sus bases axiomáticas sean equivalentes. Obsérvese que esta equivalencia es *formal*, no *semántica*; o sea, A_1 y A_2 pueden no tener la misma interpretación. Por ejemplo, la mecánica ondulatoria y la de matrices son matemáticamente equivalentes, pero están construidas con conceptos primitivos parcialmente diferentes; en consecuencia, no son semánticamente equivalentes: no tienen el mismo sentido físico.*

Dada la base A de una teoría, el conjunto $F = Cn(A)$ de las consecuencias lógicas de A queda completamente determinado. Pero 'determinado' no quiere decir "dado": las conclusiones $Cn(A)$ no están contenidas *por separado* en las premisas A , sino que tienen que *separarse* de ellas con la ayuda de reglas de inferencia (por ejemplo, algoritmos calculísticos) y trucos *ad hoc*, como la adición de alguna premisa conveniente en absoluto dictada por las premisas básicas, sino por la finalidad perseguida (el teorema que se quiere demostrar). O sea: una teoría F no queda *dada* por su base A , sino que tiene que *construirse* paso a paso sobre la base de A y con la ayuda de todo lo que pueda facilitar lícitamente el proceso de la inferencia. Considerada desde un punto de vista histórico, pues, una teoría es un conjunto de fórmulas en crecimiento: en cualquier momento dado no se conoce más que una parte finita del conjunto total F ; el complemento de este con-

junto *actual*, o sea, el conjunto de las fórmulas *potenciales* (derivables, pero no deducidas aún), está determinado por la base *A*, pero no dado por ella.

Al estudiar la estructura lógica de las teorías tomamos el conjunto entero, *F*, de las fórmulas, o sea, la unión de las fórmulas actuales y las potenciales de la teoría. Cuando se confunde así lo conocido y lo desconocido, lo viejo y lo nuevo, la inferencia deductiva no parece añadir nada nuevo a los supuestos iniciales: desde este punto de vista, que es perfectamente legítimo, pero parcial, la novedad queda excluida *ab initio* porque se identifica “determinado por *A*” con “dado por *A*”. Las cosas cambian de aspecto cuando la deducción se trata como un *proceso*, no como una relación lógica, o sea: cuando se sustituye el punto de vista lógico por los puntos de vista epistemológico e histórico. En este caso la novedad introducida por la deducción no trivial es tan patente como cuando el hidrógeno y el oxígeno, los componentes del agua, se separan mediante la electrólisis. Y la novedad aumenta cuando las consecuencias lógicas se estiman no ya sobre la base de las premisas y las reglas de inferencia, sino a la luz de los datos empíricos: se añaden entonces metaenunciados sobre el valor veritativo empírico de las conclusiones, enunciados que son más o menos diferentes de los metaenunciados que se refieren al valor veritativo de esas mismas fórmulas, pero sobre la base de las premisas. Dicho brevemente: la contrastación empírica de nuestras premisas (fragmento de conocimiento original) suministra más conocimiento original. No hará falta decir que la concepción lógica de la deducción como relación atemporal (implicación) es diferente de —pero compatible con— la concepción epistemológica de la misma como método para el aumento del conocimiento.

Problemas

7.3.1. ¿Hay alguna diferencia entre un axioma y una premisa? Recordar que, por definición, una premisa es cualquier fórmula que se introduce en una demostración lógica, estuviera o no enumerada entre los supuestos iniciales.

7.3.2. En la división de las fórmulas de una teoría utilizada en el texto se unían las definiciones con los axiomas. ¿Está eso justificado? Cf. sec. 3.4.

7.3.3. ¿Es posible construir una teoría sobre un solo axioma? No concebir los axiomas como fórmulas proposicionales sin analizar, sino como fórmulas del cálculo de predicados con identidad. *Problema en lugar de ése*: ¿Son teorías propiamente dichas, o sea, sistemas hipotético-deductivos, la teoría celular de Schwann o la teoría russelliana de los tipos?

7.3.4. Averiguar si la relación de implicación $\vdash$ tiene todas las propiedades de la relación $\leq$, tal como las estipulan los siguientes axiomas, que constituyen la base de la teoría del *orden parcial*:

P1 Para todo x de U , $x \leq x$ (*Reflexividad*)

P2 Para todo x y todo y de U , $x \leq y$ & $y \leq x \rightarrow x' = y$ (*Antisimetría*)

P3 Para todo x , todo y y todo z de U , $x \leq y$ & $y \leq z \rightarrow x \leq z$ (*Transitividad*)

U , el universo del discurso o conjunto de referencia, es un conjunto abstracto, o sea, una colección de individuos no descritos. El símbolo ‘ $\leq$ ’ puede leerse ‘precede’, pero también puede interpretarse de otros varios modos.

7.3.5. ¿Qué sentido operativo, si es que tiene alguno, puede atribuirse al enunciado: ‘Un conjunto de supuestos determina lógicamente todas las consecuencias que se siguen de él con la ayuda de las reglas de inferencia reconocidas, aunque hasta el momento no se haya deducido realmente ni una sola consecuencia’? Cf. M. Bunge, *Intuition and Science*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1962, pp. 42-49. *Problema en lugar de ése*: Cualquier conjunto de fórmulas empíricamente contrastables puede derivarse de infinitos conjuntos distintos de supuestos. ¿Hace esta indeterminación inconcontrastables a los supuestos básicos y, por tanto, arbitrarios?

7.3.6. Construir un “sistema” no deductivo en miniatura (un conjunto de fórmulas) y un sistema deductivo en miniatura. *Problema en lugar de ese*: La persona entregada a la resolución de un problema no suele tener mucha consciencia de las premisas, ni interés por la estructura de las teorías: se aferra a cualquier proposición que pueda ser útil para sus fines. ¿Pueden proceder del mismo modo el crítico y el constructor de teorías?

7.3.7. ¿Es posible reconocer hipótesis de varios niveles (esto es, axiomas, teoremas de nivel intermedio y teoremas de nivel bajo) en el psicoanálisis para establecer relaciones deductivas entre ellas? Dicho de otro modo: ¿es el psicoanálisis una teoría propiamente dicha? Cf. por el lado psicoanalítico E. Frenkel-Brunswik, “Confirmation of Psychoanalytic Theories”, en P. G. Frank (ed.), *The Validation of Scientific Theories*, Boston, Beacon Press, 1956; por el lado crítico, E. Nagel, “Methodological Issues in Psychoanalytic Theory”, en S. Hook (ed.), *Psychoanalysis, Scientific Method and Philosophy*, Nueva York, Nueva York University Press, 1959.

7.3.8. Discutir e ilustrar el proceso de derivación de las teorías científicas a partir de teorías más fuertes. *Problema en lugar de ése*: Discutir ejemplos de la relación entre la subteoría y la teoría.

7.3.9. Puesto que el concepto de implicación lógica es relativo al conjunto R de las reglas de inferencia aceptadas —o sea, insertas en la teoría lógica subyacente a la teoría dada—, cambiando R por un conjunto diferente, R' , podemos también cambiar el conjunto de las consecuencias $Cn(A)$ por un conjunto diferente $Cn'(A)$. Así, por ejemplo, un mismo conjunto de axiomas A dará lugar a dos conjuntos de teoremas según que se adopte la lógica de dos valores o la de tres valores, y, consiguientemente, se tendrán dos teorías diferentes. Discutir (i) si la comparación de las consecuencias empíricamente contrastables de esas dos teorías mediante los datos bastará para imponer una decisión entre ellas, teniendo en cuenta que también los enunciados en lenguaje observacional tendrán que interpretarse según el sistema de lógica no-ordinaria; (ii) si tendrá alguna ventaja el adoptar sistemas de lógica no-ordinaria; (iii) si esa adopción en algún campo dado (por ejemplo, la mecánica de los quanta) no impondrá la misma adopción en los demás campos de la ciencia, o, al menos, en los adyacentes, con objeto de preservar la posibilidad de echar puentes entre las varias teorías, lo cual es, en definitiva, la principal justificación del deseo de mantener la unidad lógica de la ciencia.

7.3.10. Informar acerca del estado actual de las teorías algebraica y lógica de las teorías (cálculos de sistemas). *Problema en lugar de ése*: Dado un conjunto A de supuestos y presupuestos específicos y un conjunto cualquiera, B , de fórmulas, el conjunto de las consecuencias, $F = Cn(A \cup B)$, puede considerarse como una familia producida de un modo *sintácticamente* lícito por A . Es claro que no tiene límite el número de familias de este tipo que puede producir una base axiomática dada. Averiguar si los requisitos de unidad conceptual (cf. sec. 7.2.) seleccionan una sola subfamilia *semánticamente* legítima de F .

7.4. TEORÍA ABSTRACTA E INTERPRETACIÓN

Diremos que un conjunto de símbolos es *semánticamente abstracto* si y sólo si ninguno de ellos está interpretado o es significativo; *semiabstracto* si están interpretados algunos símbolos, pero no todos; e *interpretado* si lo están todos. El concepto aquí supuesto es el de abstracción semántica, no epistemológica: no estamos meramente refiriéndonos a símbolos cuyos correlatos estén lejos de la experiencia ordinaria –por ejemplo, ‘presión osmótica’. Los símbolos semánticamente abstractos son símbolos que no denotan, como el símbolo operativo no especificado ‘o’ que se utiliza en el álgebra abstracta, el cual no tiene significación fija y puede por tanto interpretarse a posteriori de diversos modos. Los símbolos semánticamente abstractos lo son también epistemológicamente, pero no vale, en cambio, la afirmación recíproca. Así, los conceptos de más alto nivel de la física teórica son epistemológicamente abstractos, pero no carecen de significación: tienen por lo menos una interpretación matemática específica (generalmente como variables numéricas), y la mayoría de ellos significan además propiedades físicas. Por ejemplo, aunque no se atribuyen propiedades físicas a los potenciales de las teorías de campo, sino que se les considera meros conceptos auxiliares matemáticos esos conceptos son por lo menos variables numéricas, de tal modo que tienen una significación matemática.

Una *teoría abstracta* es un sistema deductivo de esquemas en el cual no aparecen más que símbolos sin interpretar (abstractos), tales como la clase de referencia U de elementos no descritos $x, y, \dots$, y la operación binaria, o , en un álgebra $A = \langle U, o \rangle$. Los supuestos iniciales o axiomas de una teoría abstracta pueden no contener variables individuales libres; las fórmulas universales y existenciales se aceptarán como miembros de una tal teoría siempre que se dejen sin especificar la naturaleza de las variables individuales y las significaciones de los predicados. Así, por ejemplo, una fórmula como

Para todo x y para todo y , si x e y pertenecen a U , entonces

$$x \ o \ y = y \ o \ x$$

se considerará un esquema con la condición de que U y o no estén interpretados. Según eso, los supuestos iniciales no demostrados de una teoría abstracta no son ni verdaderos ni falsos, por no hablar ya de autoevidencia. No son más que condiciones formales a las cuales están sometidos los símbolos primitivos (U y o en el ejemplo anterior). Dicho de otro modo: los símbolos primitivos (no definidos) de una teoría abstracta no son interpretados, sino abstractos: son símbolos que no denotan, y, por tanto, puede decirse que no son conceptos, sino simplemente símbolos. Por eso las teorías abstractas carecen de significación. Se les llama en consecuencia *sistemas sintácticos*, mientras que las teorías interpretadas, o modelos de sistemas sintácticos, se llaman *sistemas semánticos*.

Al presentar una teoría abstracta solemos indicar cómo pueden leerse sus símbolos primitivos. Así, al exponer una teoría algebraica con los símbolos de operaciones ‘ $\oplus$ ’ y ‘ $\otimes$ ’ no interpretados, podemos observar que en algunas interpretaciones de la teoría el primero será el functor aritmético de adición, y el segundo el functor aritmético del producto. Pero éstas serán observaciones extrasistemáticas o extrateoréticas, o meros comen-

tarios sin más finalidad que la psicológica o didáctica, para facilitar la comprensión y provocar interés.

Las teorías abstractas son características de la lógica y la matemática modernas. Pero también se presentan en los estadios iniciales de la reconstrucción lógica (formalización) de teorías factuales, como la mecánica o la genética. Hay por lo menos dos razones para apreciar las teorías abstractas. Una es que toda teoría abstracta contiene en germen un número ilimitado de teorías interpretadas, o modelos; las teorías abstractas son *genéricas* por el hecho de no estar comprometidas en ninguna interpretación. Dicho de otro modo: una sola teoría abstracta puede subyacer a cierto número de teorías específicas (interpretadas); y una vez descubierto eso, las derivaciones formales pueden hacerse de una vez para siempre para el entero conjunto de teorías interpretadas que tienen el mismo esqueleto. Esto no tiene sólo la ventaja de la economía, sino también la virtud del rigor: efectivamente, si una derivación es puramente formal, si no interviene en ella ningún elemento intuitivo, entonces se disminuye grandemente el riesgo de error; por otro lado, las derivaciones puramente formales pueden resultar de práctica más difícil, cosa que constituye su principal inconveniente práctico. Otra razón para estimar las teorías abstractas es de carácter metacientífico, a saber: que *la estructura de una teoría científica*, formal o no, es precisamente una teoría abstracta: todo lo demás es interpretación y aplicación. Por tanto, la lógica de las teorías científicas es, hablando estrictamente, el estudio de las teorías abstractas subyacentes; además, puesto que las teorías constituyen el núcleo de la ciencia contemporánea, la estructura de la ciencia es primariamente tema para la lógica y la matemática, incluyendo sus respectivas metadisciplinas. (Recordar el teorema formulado en la sección 3, según el cual todo sistema deductivo es, desde el punto de vista de su estructura, un filtro.)

En esta sección y en la siguiente esbozaremos el núcleo de dos teorías abstractas que pueden manejarse como herramientas en el análisis de la ciencia: la teoría del orden parcial y la teoría de la probabilidad. No sólo son teorías *formales*, en el sentido de ser lógicamente independientes de la experiencia, sino que, además, son semánticamente abstractas, porque carecen de significación y son, por tanto, susceptibles de un número ilimitado de interpretaciones.

En sus elementos esenciales la teoría del *orden parcial* es un conjunto de fórmulas que relacionan dos conjuntos de símbolos primitivos: un conjunto no vacío, U , de elementos no descritos, $x, y, z, \dots$, y un símbolo relacional binario, ' $\leq$ ', que puede leerse 'precede'. Podemos por tanto simbolizar la teoría T del orden parcial así: $T = \langle U, \leq \rangle$. Los axiomas de la teoría, o sea, las condiciones a que quedan sometidos los símbolos primitivos, son los siguientes:

- P1 Para todo x de U , $x \leq x$ (*Reflexividad*) [7.11]
 P2 Para todo x y todo y de U , $x \leq y$ & $y \leq x \rightarrow x = y$ (*Antisimetría*) [7.12]
 P3 Para todo x , todo y y todo z de U , $x \leq y$ & $y \leq z \rightarrow x \leq z$ (*Transitividad*) [7.13]

Examinemos algunos conjuntos parcialmente ordenados:

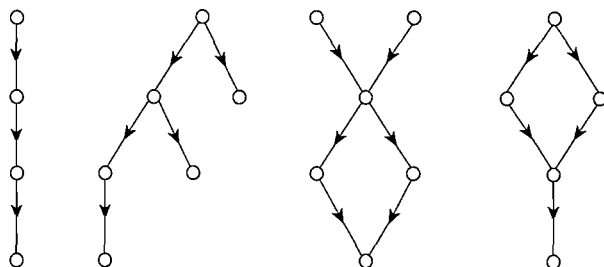


FIGURA 7.6. Conjuntos parcialmente ordenados. Cada miembro del conjunto está representado por un círculo, cada línea representa la relación $\leq$. El primer diagrama empezando por la izquierda es una cadena, o sea, representa un conjunto en el que vale la relación $<$.

El 1o. y el 4o. son algo más que meros conjuntos parcialmente ordenados: son retículos, porque para cada par de elementos existe un borne máximo inferior y un último borne superior.

Simplificaremos la simbolización adoptando la siguiente *Convención* notacional: ' $(x)_U$ ' significa lo mismo que 'Para todo x perteneciente a U '.

Con esta abreviatura, la base de la teoría abstracta de los conjuntos ordenados es la siguiente lista de símbolos sin significación:

Primitivas (base predicativa)

1 *Primitivas lógicas*: todas las de la lógica elemental.

2 *Extralógicas* (específicas): el conjunto abstracto U y la relación binaria $\leq$.

Axiomas (supuestos iniciales)

P1 $(x)_U (x \leq x)$ (*Reflexividad*) [7.11']

P2 $(x)_U (y)_U [x \leq y \ \& \ y \leq x \rightarrow x = y]$ (*Antisimetría*) [7.12']

P3 $(x)_U (y)_U (z)_U [x \leq y \ \& \ y \leq z \rightarrow x \leq z]$ (*Transitividad*) [7.13']

Definición 1: Se dice que un conjunto U es *parcialmente ordenado* si y sólo si satisface los anteriores axiomas. (La ordenación *total* se obtiene añadiendo la condición de que la relación $\leq$ tiene que valer entre *todo* par de elementos del conjunto:

$$(x)_U (y)_U (x \leq y \vee y \leq x).$$

En este caso el orden es *lineal*, o sea, el conjunto es una cadena.)

Del anterior esquema pueden derivarse unos cuantos teoremas, como, por ejemplo:

$$T1 \ (x)_U (y)_U (z)_U [x \leq z \leq y \ \& \ x = y \rightarrow x = y = z]$$

El ulterior desarrollo de la teoría exige la introducción de nuevos conceptos. Como en una teoría axiomática no pueden introducirse nuevos conceptos que no estén incluidos entre los primitivos, la construcción de conceptos tiene que hacerse por medio de definiciones mediante las primitivas. Por ejemplo, podemos introducir la relación, más fuerte, $<$, que es la relación de precedencia estricta (la cual produce una ordenación parcial *estricta*), por medio de la siguiente

$$\text{Definición 2} \quad (x)_U(y)_U \quad [x < y =_{\text{df}} x \leq y \ \& \ x \neq y] \quad [7.14]$$

Esto nos permite demostrar, por ejemplo:

$$T2 \ (x)_U - (x < x)$$

y

$$T3 \ (x)_U(y)_U(z)_U \quad [x < y \ \& \ y < z \rightarrow x < z]$$

Se obtienen otras consecuencias interesantes introduciendo los conceptos de sucesor inmediato, de primer elemento, de último elemento, de borne inferior máximo, de borne superior último, etc. De este modo —ampliando la base predicativa— se construyen nuevas teorías abstractas más ricas, como la de retículos y la de filtros. La teoría del orden parcial está contenida en todas esas otras, o, como suele decirse, todas esas teorías se *basan* en la teoría del orden parcial.

Ahora bien: la teoría abstracta recién esbozada puede interpretarse de un número ilimitado de maneras. Dicho de otro modo: hay un número ilimitado de relaciones de precedencia de naturaleza diferente, pero todas con la misma estructura lógica. O, también, infinitas interpretaciones de las primitivas de la teoría del orden parcial *satisfacen* sus axiomas; cada una de ellas se llama un *modelo* o representación de la teoría abstracta. Todo modelo de nuestra teoría estará plenamente determinado por un par de *reglas de interpretación*: una para la primitiva U y otra para la primitiva $\leq$. Una regla de interpretación de un símbolo s es un enunciado de la forma " $I(s) = m$ ", siendo ' m ' representación de una disposición significativa de símbolos. Se consiguen unos cuantos modelos de nuestra teoría abstracta añadiéndole las siguientes reglas de interpretación:

1. *Interpretación en teoría de conjuntos*: inclusión entre conjuntos.

$$I(U) = \text{conjunto de subconjuntos.}$$

$$I(\leq) = \subset \text{ [inclusión impropia].}$$

2. *Interpretación lógica*: implicación.

$$I(U) = \text{conjunto de enunciados.}$$

$$I(\leq) = \rightarrow \text{ [implicación].}$$

3. *Interpretación lógica 2*: deducción.

$$I(U) = \text{conjunto de enunciados.}$$

$$I(\leq) = \text{implicación lógica o inferencia, } \vdash.$$

4. *Interpretación aritmética*: divisibilidad. $I(U)$ = conjunto de los enteros. $I(\leq)$ = es divisor de, por ejemplo: ' $3 \leq 9$ ' se lee '3 es divisor de 9'.5. *Interpretación geométrica*: alineación. $I(U)$ = puntos de una línea. $I(\leq)$ = a la izquierda de o coincidente con.6. *Interpretación física*: orden térmico. $I(U)$ = conjunto de cuerpos. $I(\leq)$ = menos caliente que o tan caliente como.7. *Interpretación política*: poder. $I(U)$ = conjunto de organizaciones humanas. $I(\leq)$ = tiene poder sobre.8. *Interpretación en teoría de los valores*: estimación $I(U)$ = todos los objetos concebibles. $I(\leq)$ = menos valioso que o tan valioso como.

Demos ahora una caracterización general del concepto de *interpretación* de una teoría abstracta. Sea U el universo del discurso de la teoría y $P_1, P_2 \dots P_n$ los predicados primitivos de la teoría, cada uno de los cuales se aplica a miembros del conjunto de referencia U . Sea además $I(U)$ una interpretación de U , e $I(P_1), I(P_2), \dots I(P_n)$ interpretaciones de los predicados primitivos: todas ellas interpretaciones *admisibles*, no arbitrarias. Para que una interpretación de las primitivas sea aceptable en la ciencia factual tiene que satisfacer las condiciones siguientes. En primer lugar, la interpretación no debe ser *ad hoc*, o sea, inventada, por ejemplo para demostrar la consistencia de la teoría abstracta dada, y aislada en lo demás del resto de la ciencia. Las teorías científicas no son ejercicios de semántica. (Pero las interpretación *ad hoc* son muy útiles metateóricamente: cf. sec. 7.6.) En segundo lugar, los símbolos interpretados tienen que *satisfacer los axiomas de la teoría*, o sea: las relaciones formales satisfechas por las primitivas tienen que valer también para sus interpretaciones. Así, si A y B son conjuntos sin especificar ("indefinidos") y la teoría abstracta estipula que $A \subset B$, entonces tiene que valer también $I(A) \subset I(B)$. En el caso de las teorías factuales no exigiremos que los axiomas interpretados sean completamente verdaderos, sino simplemente verosímiles. Todo conjunto de reglas $\{I(U), I(P_1) \dots, I(P_n)\}$ que satisfaga esas condiciones es una interpretación de la teoría abstracta de que se trate: es un (no el) *código* para descifrar el formalismo.

Una interpretación de una teoría abstracta se llamará un *modelo conceptual* de la misma precisamente en el caso de que los símbolos primitivos correspondan a conceptos existentes en algún contexto teórico, pero sin tener referencia real. Dicho de otro modo: un modelo conceptual es una interpretación de la teoría abstracta dada a base de conceptos que pertenecen a una teoría no abstracta. Por ejemplo, la teoría del orden parcial estricto, que pertenece al álgebra abstracta, puede interpretarse en aritmética como teoría de la

relación “menor que” entre números. Todas las interpretaciones 1-5 antes indicadas dan modelos conceptuales del mismo sistema sintáctico; y el formalismo matemático de una teoría física es un modelo conceptual o ideal de la teoría abstracta subyacente.

Consideremos ahora una teoría que sea una teoría abstracta (sin interpretar) o un modelo conceptual de una teoría abstracta, o sea, en resolución, una teoría cuyas primitivas o bien no tienen correlatos, o no los tienen más que conceptuales. Supongamos que se atribuye a las primitivas de una tal teoría significación factual y/o empírica (cf. sec. 3.5). Dicho de otro modo: supongamos que se añade a la teoría dada un conjunto de reglas de interpretación por virtud de las cuales cada primitiva se convierte en un predicado no formal, por ejemplo, en un concepto que representa alguna propiedad física. Un tal conjunto de reglas de interpretación puede ser una mezcla de reglas de designación, postulados de interpretación y refericiones (recuérdese la sec. 3.6). Las primitivas no quedarán sin más *definidas* con eso, y aún menos lo estarán operacionalmente. Quedarán *interpretadas* si eran abstractas desde el principio; y tomarán además una significación no formal *adicional* si pertenecen a un modelo conceptual, como cuando el valor numérico m en mecánica se interpreta como el valor de la masa de un sistema.

Cuando se atribuye a las primitivas de un formalismo una tal interpretación no formal se dice que se ha producido un *modelo factual* de dicho formalismo. Así, las interpretaciones 6-8 de las antes indicadas dan tres modelos factuales diferentes de la teoría abstracta del orden parcial. A su vez, toda teoría física puede considerarse como una interpretación factual de su formalismo matemático. Así, las varias interpretaciones físicas del esqueleto matemático de la mecánica de los quanta son otros tantos modelos factuales del mismo. Demasiado frecuentemente la interpretación no se formula de una manera explícita: se da por supuesto que el lector entiende cuál es la *interpretación mentada* del formalismo, o sea, que sabe cómo hay que “leer” en última instancia sus símbolos, o qué aplicación interesante (modelo) tiene presente el autor de la teoría abstracta. Pero esa intención puede no resultar obvia, o ser demasiado ambigua, y en este caso puede suscitarse la duda de si la teoría tiene contenido o, al menos, alguna interpretación deseada. El físico de mentalidad crítica declarará entonces que la teoría carece de significación física, o que no tiene contenido físico, lo que tal vez le lleve a reclamar acriticamente que se añada a la teoría un conjunto de “definiciones operativas” de las primitivas, lo cual es lógicamente imposible (cf. sec. 3.6).

*Por lo demás, puede ponerse en duda el que el mero enunciado de reglas de interpretación vaya a dar a un formalismo una *significación* inequívoca, como no sea en casos triviales. Lo que consiguen las reglas de interpretación es determinar posibles modelos de un formalismo. Pero como los conceptos extralógicos suelen ser vagos (recuérdese la sec. 3.1), un modelo factual suele adolecer de cierta nebulosidad. Dicho de otro modo: las reglas de interpretación pueden *sugerir* más que *fixar plenamente* las significaciones de las primitivas extralógicas. Incluso un sistema semántico, como la teoría electromagnética de Maxwell, puede no ser interpretable de un modo exacto y único. Pues las significaciones no nacen ya con todos sus requisitos, sino que crecen y evolucionan. En particular, la interpretación de una teoría científica madura en el curso del desarrollo, la aplicación y el examen crítico de la teoría. Esto se aplica a los sentidos semánticos de ‘significación’ (cf. secs. 2.3 y 3.6), y, a fortiori, a su sentido psicológico —que es el de “en-

tender” o “comprensión”. La existencia de cierta indeterminación en cuanto a las significaciones—que es un síntoma de la inmadurez de la teoría— da razón de algunas controversias acerca de las interpretaciones de teorías recientes y tiende a mostrar que la investigación de fundamentos y la controversia al respecto, lejos de ser un lujo, debe promoverse en el interés de la maduración de la ciencia. Pero baste con esta propaganda: resumamos ahora nuestra discusión de las clases de modelo.*

Además de los casos puros, antes mencionados, de los modelos conceptuales y factuales hallamos *modelos mixtos* o teorías semiinterpretadas, que tienen su importancia en la ciencia factual. Se trata de teorías *algunos* de cuyos predicados representan propiedades reales (o presumiblemente tales), mientras que los demás predicados no reciben significación factual o empírica. Estas variables que no refieren a cosas, propiedades ni relaciones extrateóricas reciben entonces una interpretación matemática (conceptual, por tanto). Numerosas teorías factuales de nivel alto contienen tales variables que sólo desempeñan un papel matemático. Así, por ejemplo, en la termodinámica clásica la entropía no se considera como una propiedad física, sino más bien como una variable intermedia cuya función es puramente sintáctica; lo mismo vale de los potenciales en la teoría electromagnética, y de las funciones de onda en la interpretación habitual de la mecánica de los quanta: ninguna de esas primitivas recibe significaciones inmediatamente físicas. Por eso tales teorías son modelos mixtos de las teorías abstractas subyacentes. Pero sería erróneo considerarlas sistemas sintácticos, es decir, teorías abstractas; sus universos del discurso son conjuntos de sistemas físicos, y todas sus primitivas tienen por lo menos sentido matemático.

Hay un reducido —pero creciente— conjunto de teorías factuales que son modelos mixtos caracterizados por el claro predominio de las variables conceptualmente interpretadas sobre las primitivas de interpretación factual. Entre esos sistemas semiinterpretados recordaremos: (i) la teoría de la información, que puede aplicarse a sistemas abiertos de cualquier clase, desde los radar hasta los organismos; (ii) la teoría fundamental de los servomecanismos, que es la misma para los procedimientos de control eléctrico que para los de control mecánico automático; (iii) la teoría de redes, que puede aplicarse exactamente igual a circuitos eléctricos que a sistemas vibratorios mecánicos. Esas tres teorías pueden subsumirse a su vez bajo una teoría general de la caja negra, en la cual se formulan hipótesis y se elabora la relación más general entre una función insumo, o *input*, $I(t)$, y una función producto, o *output*, $O(t)$. En esa teoría la única primitiva factualmente interpretada es t , que representa el tiempo. El *input* I y el *output* O son símbolos que semánticamente no comprometen a nada y no se interpretan más que como variables numéricas (interpretación conceptual), Sin significación factual fija. La interpretación incompleta que caracteriza los modelos mixtos es una raíz de su generalidad, así como de su escasa contrastabilidad empírica. Y el hecho de que puedan interpretarse (aplicarse) de tantos modos diversos muestra que las fórmulas legaliformes pertenecientes a campos diversos pueden ser formalmente idénticas.

Hasta el momento hemos hablado de *modelos teóricos*. Todos esos modelos son creaciones mentales, por adecuadamente que puedan representar objetos reales. A su vez, un sistema real puede considerarse como *modelo material* de una teoría. Así, un sistema de conexiones eléctricas puede contemplarse como modelo material o como análogo fisi-

co del cálculo proposicional, y puede por tanto usarse como un auxiliar para la deducción.

La variedad de sentidos de la palabra 'modelo' puede turbar a menos que tengamos cuidado de especificar el sentido que tenemos presente. (De hecho esta ambigüedad del término 'modelo' ha confundido a numerosos epistemólogos, llevándoles a creer que los modelos que se construyen en ciencia y tecnología son modelos lógicos, o interpretaciones de teorías abstractas.) La tabla 7.1 resume los principales sentidos que hemos discutido.

Pero antes de dar un paso más conviene que nos familiaricemos con las teorías abstractas y sus interpretaciones.

TABLA 7.1. SENTIDOS DE MODELO

Modelo	Teorético	Modelo ideal supuesto en una teoría	<i>Ikónico</i> (p. ej., la metáfora de la cerradura y la llave como modelo de las encimas). <i>Simbólico</i> (p. ej., la sociedad democrática en la ciencia política).
		Interpretación de una teoría abstracta	<i>Conceptual</i> (p. ej., una interpretación aritmética de la teoría de grupos). <i>Factual</i> (p. ej., una interpretación física de la geometría euclídea). <i>Mixta</i> (p. ej., la teoría general de los autómatas).
		Material (p. ej., modelo con bolas y bastones plásticos de una molécula).	

Problemas

7.4.1. Formular los axiomas de la teoría del orden lineal (orden parcial estricto). Mostrar que esta teoría está contenida en la teoría del orden parcial esbozada en el texto. Proponer una interpretación aritmética, otra geométrica, otra física y otra biológica. *Problema en lugar de ése:* ¿Es la teoría de conjuntos abstracta o semiabstracta? Compararla con la teoría del orden parcial.

7.4.2. Examinar la teoría general de grupos con la fundamentación siguiente:

Primitivas: un conjunto no vacío U , una operación binaria $\circ$, una operación monádica $^{-1}$, que, aplicada a un elemento cualquiera x de U , da su inverso x^{-1} , y una constante individual e , el elemento neutral.

Axiomas:

$$G1 \quad (x)_U(y)_U(z)_U [x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z] \quad [7.15]$$

$$G2 \quad (x)_U(x \circ e = x) \quad [7.16]$$

$$G3 \quad (x)_U(x \circ x^{-1} = e) \quad [7.17]$$

Intentar dar otras formulaciones, por ejemplo, sustituyendo los axiomas $G2$ y $G3$ por enunciados referentes a la existencia del elemento neutral e y a los elementos inversos x^{-1} . Establecer una definición del concepto de grupo; con este objeto recordar la sec. 3.3, acerca de las llamadas definiciones postulacionales. Construir modelos conceptuales (por ejemplo, aritmético, geométrico y de teoría de conjuntos) de la teoría de grupos, así como interpretaciones factuales de la misma. Indicaciones: averiguar si la adición y la multiplicación de enteros satisfacen los axiomas de la teoría de grupos; observar si los movimientos de un punto en un plano constituyen un grupo; y estudiar el conjunto de las rotaciones de un punto de masa alrededor de un centro fijo y con ángulo variable. *Problema en lugar de ése:* Discutir la relevancia de la teoría de grupos para la epistemología, especialmente para la idea de invariancia bajo cambios de las condiciones de observación. Cf. sec. 6.5.

7.4.3. Caracterizar y ejemplificar los conceptos de teoría formal (en cuanto distinta de la factual) y de teoría abstracta (diferenciándola de la teoría interpretada). *Problema en lugar de ése:* Informar acerca de alguno de los textos siguientes: (i) E. V. Huntington, "The Fundamental Propositions of Algebra", reimpreso en J. W. A. Young (ed.), *Monographs on Topics of Modern Mathematics*, 1911; Nueva York, Dover, 1955, secs. II y III. (ii) E. V. Huntington, "The Method of Postulates", *Philosophy of Science*, 4, 482, 1937. (iii) C. I. Lewis y C. H. Langford, *Symbolic Logic*, 2a. ed., Nueva York, Dover, 1959, cap. XI. (iv) W. y M. Kneale, *The Development of Logic*, Oxford, Clarendon Press, 1962, cap. VI, sec. 4.

7.4.4. Una misma relación *insumo-producto* puede materializarse de infinitos modos. Por ejemplo, cualquiera de una infinidad de amplificadores puede amplificar de un modo prefijado una señal dada. ¿Qué sugiere ese hecho, aparte de que "todos los caminos llevan a Roma"? *Problema en lugar de ése:* Establecer las reglas de interpretación que se necesitan para establecer una correspondencia biunívoca entre el cálculo proposicional y la teoría cualitativa de los circuitos. Indicación: dos conexiones en serie corresponden a la conjunción binaria, y dos conexiones en paralelo a la disyunción binaria.

7.4.5. Averiguar si la preferencia (la relación "se prefiere a", o "es más valioso que") satisface los axiomas del orden parcial estricto. *Problema en lugar de ése:* Examinar el modelo material de alguna teoría científica, como el *Moniac* (el modelo hidráulico de la teoría keynesiana de la economía nacional).

7.4.6. Tomar la axiomática de la aritmética elemental establecida por G. Peano y practicar los siguientes ejercicios. (i) Construir la correspondiente teoría abstracta (o sea, desinterpretar esa axiomática) y formular la teoría de Peano con los símbolos del cálculo de predicados. (ii) Hallar dos modelos de la teoría abstracta. (iii) Averiguar si los axiomas de Peano caracterizan inequívocamente el concepto de número natural, o sea, si suministran una definición (contextual) del conjunto de los enteros positivos.

Para facilitar la tarea damos en lenguaje común los postulados de Peano.

$$N1 \quad \text{Cero es un número natural.} \quad [7.18]$$

$$N2 \quad \text{El sucesor de todo número natural es un número natural.} \quad [7.19]$$

$$N3 \quad \text{Dos números naturales diferentes no tienen el mismo sucesor.} \quad [7.20]$$

$$N4 \quad \text{Cero no es el sucesor de ningún número.} \quad [7.21]$$

- N5 Si una propiedad es tal que (i) se aplica a cero, y (ii) si es verdadera de un número cualquiera entonces lo es también de su sucesor, entonces la propiedad pertenece a todo número natural. [7.22]

Obsérvese que el sistema axiomático funciona como una estipulación referente a las siguientes primitivas específicas (extralógicas): “número natural” (que es un predicado monádico), “cero” (que es una constante individual), y “el sucesor de” (que puede analizarse como predicado monádico o como relación binaria o diádica). “Cero” puede sustituirse por “uno”. *Problema en lugar de ése*: ¿Son físicamente interpretables los axiomas de la teoría de conjuntos? En particular: “¿Puede haber modelos físicos de los axiomas de infinito y de elección?” Distinguir “físicamente posible” de “físicamente factible”.

7.4.7. Euclides estaba convencido de que sus *Elementa* revelaban la geometría del espacio físico. Aparte de eso, y en el terreno de los hechos, ¿construyó Euclides una teoría física o más bien una teoría abstracta, o más bien un modelo conceptual de una teoría abstracta explicitada mucho más tarde? *Problema en lugar de ése*: Los partidarios del planteamiento fenomenológico sostenían, hacia 1900, que una buena teoría física es un conjunto de ecuaciones diferenciales sin hipótesis subyacentes y tal que las ecuaciones cubren los datos empíricos. Las ecuaciones diferenciales se opusieron en cambio, como solución teórica correcta, a las hipótesis atomísticas. ¿Era correcta esa contraposición?

7.4.8. Discutir el papel de la aparición de las teorías abstractas en la unificación de la ciencia al nivel sintáctico. Tener presente el caso de teorías que estudian conceptos duales, como las teorías de las relaciones $\leq$ y $\geq$, $\subset$ y $\supset$, o la suma y la sustracción de segmentos. Cada una de esas teorías se caracteriza por alguna ley de dualidad. Por ejemplo, en la teoría de los conjuntos ordenados tenemos el siguiente *principio de dualidad* (que es propiamente un metaaxioma): Todo teorema relativo a un par ordenado $\langle U, \leq \rangle$, vale para su dual $\langle U, \geq \rangle$, si los símbolos ‘ $\leq$ ’ y ‘ $\geq$ ’ se intercambian en el teorema. Hallar más ilustraciones de la dualidad en la geometría proyectiva y en la lógica.

7.4.9. Según un punto de vista que goza de bastante influencia, las primitivas de una teoría factual no están interpretadas: sólo los llamados términos observacionales de la teoría son símbolos interpretados, mientras que los “términos teóricos” adquieren significación indirectamente, a través de sus relaciones con los “términos observacionales”. ¿Qué tipo de significación tiene presente ese punto de vista, la significación factual o la empírica? ¿Es verdad que todas las teorías contienen conceptos observacionales? Piénsese en los conceptos de masa, intensidad de campo, evolución, lucha de clases y progreso.

7.4.10. Discutir la confusión entre modelo lógico (interpretación de una teoría abstracta) y modelo científico (teoría de un dominio estrecho de hechos) en que incurren J. Sneed, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht, Reidel, 1971, y W. Stegmüller, *The Structure and Dynamics of Theories*, Nueva York, Springer, 1976.

7.5. *PROBABILIDAD: CÁLCULO, MODELOS, INTERPRETACIONES ERRÓNEAS

Nuestro segundo ejemplo de teoría abstracta será el cálculo de probabilidades. Esta teoría es de máxima importancia en la ciencia fáctica, en la tecnología y en la metaciencia: por ser abstracta, puede interpretarse (e interpretarse mal) de infinitos modos.

La teoría elemental de la probabilidad presupone la lógica elemental, la teoría de conjuntos elemental y la aritmética elemental. Una de las dos primitivas de la teoría es, como de costumbre, un conjunto de referencia no vacío, U , a cuyos miembros llamaremos $a, b, c, \dots$. La teoría predicará algo de esos elementos no descritos y de las colecciones que pueden formar. Si $U = \{a, b\}$, los subconjuntos de U son $\{a\}$, $\{b\}$ y el propio U . (No contamos más que los subconjuntos no vacíos de U .) Llamando $S(U)$ al conjunto de todos los subconjuntos no vacíos de U , tenemos en el caso particular del conjunto de dos miembros, $S(U) = \{\{a\}, \{b\}, \{a, b\}, \{U\}\}$. Si U tiene tres elementos en vez de dos, $S(U)$ constará de $7 = 2^3 - 1$ conjuntos no vacíos. En general, el conjunto de todos los subconjuntos no vacíos del conjunto-básico U se llamará $S(U) = \{A, B, C, \dots\}$. La cardinalidad o numerosidad de una tal colección de subconjuntos de un conjunto básico U de N elementos será $2^N - 1$. Puede ser útil para interpretar los elementos de U o sus subconjuntos como acontecimientos posibles de una clase. Por ejemplo, podemos concebir A como el acontecimiento $A = \langle \text{cara, cruz} \rangle$ en dos lanzamientos sucesivos de una moneda. Pero como nuestra intención es construir una teoría abstracta, cualquier interpretación de ese tipo tiene que considerarse como mera *ayuda heurística*: contenidos bien determinados no se introducen en la concha más que cuando ésta se encuentra ya bien construida.

La otra primitiva específica o extralógica de la teoría es una función de conjuntos, P , “definida” (dada) sobre $S(U)$. (Podemos concebir $P(A)$ como el peso de A respecto de S , siendo A una parte de un cuerpo S . Pero tampoco esta interpretación provisional es más que un expediente heurístico.) La función de conjuntos, o medida de la probabilidad, P , establece una correspondencia entre el elemento $A \in S(U)$ y un número real p que se encuentra entre 0 y 1 (cf. fig. 7.7). Dicho de otro modo: los subconjuntos de U quedan representados por números del intervalo $[0, 1]$; el número p correspondiente al subconjunto A es el valor numérico de la función P ; o sea: $P(A) = p$. La estructura del concepto de probabilidad es pues la de una función de una variable individual cuyo campo son los subconjuntos no vacíos del conjunto básico, y una variable numérica cuyo campo es el intervalo $[0, 1]$ y que es la imagen de U bajo p .

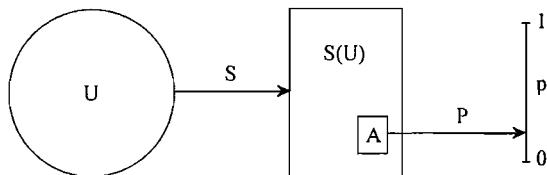


FIGURA 7.7. Representación de los subconjuntos de U en el intervalo básico de números reales.

Pero todo eso son aspectos extrasistemáticos. La base de la teoría elemental abstracta de la probabilidad se reduce a la siguiente estructura (A. N. Kolmogorov).

Primitivas: U , un conjunto no vacío; P , “definida” sobre $S(U)$, y que toma valores reales.

Axiomas:

$$P1 \quad (A)_{S(U)} [P(A) \geq 0]; \text{ o sea, } P(A) = p \text{ no es número negativo} \quad [7.23]$$

$$P2 \quad P(U) = 1; \text{ o sea, la probabilidad del conjunto básico es igual a 1.} \quad [7.24]$$

$$P3 \quad (A)_{S(U)} (B)_{S(U)} [A \cap B = \emptyset \rightarrow P(A \cup B) = P(A) + P(B)]; \quad [7.25]$$

o sea: la probabilidad de la medida de la unión de dos conjuntos que no tengan elementos comunes es igual a la suma de sus medidas separadas.

Los enunciados que acompañan a las anteriores fórmulas se dan sólo con fines didácticos: no pertenecen a la teoría axiomática. El símbolo ' $(A)_{S(U)}$ ' debe leerse: 'para todo A de la colección de subconjuntos no vacíos de U '. (Dicho sea de paso, la presencia de variables de clases, como A , cuyo campo es el conjunto $S(U)$, muestra que la teoría elemental de la probabilidad no es elemental en sentido lógico.)

Vamos a derivar ahora unos pocos teoremas importantes que son útiles en la teoría de la inferencia no deductiva. Prescindiremos, como suele hacerse, de los cuantificadores: como todas nuestras premisas son universales, podemos pasar libremente de *todo* a *cualquiera* y volver a *todo*. Las derivaciones serán *formales*, en el sentido de que no utilizarán interpretaciones específicas a base de monedas, urnas, bolas u otros expedientes heurísticos.

T1 La probabilidad del complemento es igual al complemento de la probabilidad

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A) \quad [7.26]$$

Demostración. De P2 y la definición (implícita) de conjunto complementario, a saber, $\bar{A} \cup A = U$, obtenemos $P(\bar{A} \cup A) = 1$. Aplicando esto a P3 obtenemos $P(\bar{A} \cup A) = P(\bar{A}) + P(A) = 1$, lo cual puede escribirse en la forma [7.26].

T2 El valor numérico de una probabilidad se encuentra entre 0 y 1:

$$0 \leq P(A) \leq 1 \quad [7.27]$$

Demostración. La primera desigualdad se sigue de P1, que puede escribirse precisamente así; $0 \leq P(A)$. Para demostrar la segunda desigualdad examinamos el Teorema 1. Por P1, $P(\bar{A}) \geq 0$, por tanto, el segundo miembro del Teorema 1, $1 - P(A)$, es también no-negativo. O sea, $P(A) \leq 1$. q. e. d.

T3 La medida de la probabilidad de la unión de dos conjuntos cualesquiera es igual a la suma de sus medidas separadas menos la medida de su intersección [que si no se sustrajera se contaría dos veces]:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad [7.28]$$

Demostración. Descomponemos B en dos conjuntos disyuntos, del modo siguiente: el conjunto de los elementos que pertenecen a A y B , y el conjunto de los elementos que pertenecen a B , pero *no* a A : $B = (A \cap B) \cup (\bar{A} \cap B)$ (cf. fig. 7.8). Por último, introducimos esta división en los argumentos de $P(B)$ y $P(A \cup B)$ y aplicamos $P3$:

$$\begin{aligned} P(B) &= P[(A \cap B) \cup (\bar{A} \cap B)] = P(A \cap B) + P(\bar{A} \cap B) \\ P(A \cup B) &= P[A \cup [(A \cap B) \cup (\bar{A} \cap B)]] = P[[A \cup (A \cap B)] \cup (\bar{A} \cap B)] \\ &= P[A \cup (\bar{A} \cap B)] \\ &= P(A) + P(\bar{A} \cap B) \end{aligned}$$

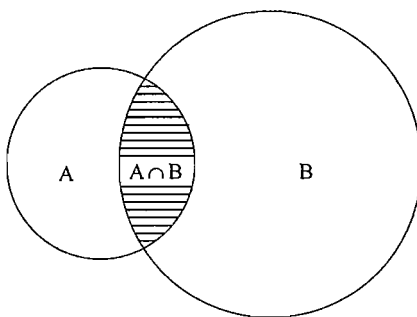


FIGURA 7.8. Descomposición de B en dos conjuntos disyuntos para poder aplicar $P3$. Esta figura es un mero expediente pedagógico extrasistemático: contemplarla con recelo.

Se ha utilizado la igualdad " $A \cup (A \cap B) = A$ ", que se sigue de la teoría de conjuntos y está representada en la fig. 7.8. Sustrayendo las dos últimas ecuaciones eliminamos $P(\bar{A} \cap B)$, y disponiendo adecuadamente los términos restantes obtenemos el Teorema 3.

Observemos que, aunque en la derivación no hemos usado más que los axiomas $P1$ - $P3$ y relaciones de la teoría de conjuntos y la aritmética elementales, estas relaciones no estaban sugeridas por la base axiomática: son premisas adicionales, tomadas de teorías presupuestas por el cálculo de probabilidades. La elección de esas premisas adicionales se inspira en los resultados deseados, y no está controlada más que por la siguiente regla: "Ensayar toda premisa que pueda ser relevante para la demostración, siempre que la premisa pertenezca a alguna de las teorías presupuestas por la teoría estudiada." En resolución: los teoremas no "fluyen" de los axiomas y las definiciones mediante la aplicación mecánica de reglas de inferencia: la deducción es una actividad más oportunista que de principios, y las reglas de inferencia no son tanto reglas que *dirigen* la deducción cuanto reglas que la *convalidan* o justifican: permiten unas cosas y prohíben otras, pero no dicen cómo proceder. En segundo lugar, debe observarse que el Teorema 3 es más general que el axioma $P3$, el cual vale sólo en el caso especial $A \cap B = \emptyset$. La razón de que un teorema pueda ser más fuerte que un axioma de la misma teoría es el hecho ya visto, a saber, que detrás de los axiomas $P1$ - $P3$ se encuentran la teoría de conjuntos y la aritmética elementales. Situaciones de este tipo pueden surgir fácilmente en las teorías

factuales formuladas con la ayuda de teorías matemáticas: axiomas relativamente modestos dan lugar a teoremas fuertes en una teoría apoyada en una rica estructura matemática. Aprovechar esta ventaja es una forma de aplicar la técnica del cuclillo (cf. sec. 8.2), utilizando nidos conceptuales ya listos.

Vamos a desarrollar ahora otra porción de la teoría de la probabilidad introduciendo el concepto de probabilidad condicional. Lo hacemos mediante la siguiente

Df. 1 (probabilidad condicional)

$$\text{Si } P(B) \neq 0, \text{ entonces } P(A/B) =_{\text{df}} \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad [7.29]$$

‘ $P(A/B)$ ’ se lee: ‘la probabilidad (condicional) de A dado B ’. Ahora enunciamos el

T4 Si $P(A) \neq 0$ y $P(B) \neq 0$, entonces

$$P(A \cap B) = P(A/B) \cdot P(B) = P(B/A) \cdot P(A) \quad [7.30]$$

Demostración. La primera igualdad es una consecuencia inmediata (un corolario) de Df. 1. La segunda igualdad se obtiene de Df. 1 intercambiando A y B . Efectivamente: si en Df. 1 sustituimos B por A y recordamos que $A \cap B = B \cap A$, obtenemos

$$\text{Si } P(A) \neq 0, \text{ entonces } P(B/A) =_{\text{df}} \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad [7.31]$$

lo cual da ya la igualdad deseada.

T5 (Teorema de Bayes). Si $P(A) \neq 0$ y $P(B) \neq 0$, entonces

$$P(A/B) = \frac{P(A) \cdot P(B/A)}{P(B)} \quad [7.32]$$

Este teorema se sigue inmediatamente del Teorema 4 sin más que eliminar el primer miembro de éste. El teorema de Bayes es de importancia central en la teoría de la inferencia plausible, en la cual A y B se interpretan como conjuntos de proposiciones.

Df. 2 (irrelevancia). B es irrelevante para A si y sólo si

$$P(A/B) = P(A)$$

Intercambiando A con B se obtiene la siguiente proposición dual:

Df. 2' (irrelevancia). A es irrelevante para B si y sólo si

$$P(B/A) = P(B)$$

Df. 3 (independencia). A es independiente de B si y sólo si B es irrelevante para A o A es irrelevante para B . Brevemente:

$$A \text{ es independiente de } B =_{\text{df}} [P(A/B) = P(A) \vee P(B/A) = P(B)] \quad [7.33]$$

T6 Si A es independiente de B , entonces B es independiente de A [o sea, la relación de independencia es simétrica].

Demostración. Sustituir B por A en *Df. 3* y recordar la conmutatividad de la disyunción.

T7 Si A es independiente de B , entonces

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \quad [7.34]$$

Demostración. Aplicar la *Df. 3* al Teorema 4.

T8 Si A es independiente de B , entonces

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) \quad [7.35]$$

Demostración. Sustituir en Teorema 3 según Teorema 7.

Hasta el momento hemos estudiado la teoría *abstracta* de la probabilidad. En la mayoría de los libros de texto sobre probabilidad se mezclan fraternalmente una o más de las siguientes interpretaciones de este concepto, que llevan a los correspondientes modelos.

1. Interpretación semántica

$I(U)$ = conjunto de todas las proposiciones de una clase dada.

$I[P(A)]$ = Probabilidad de que la(s) proposición(es) A sea(n) verdadera(s).

2. Interpretación estadística

$I(U)$ = conjunto de datos empíricos de una clase dada.

$I[P(A)]$ = frecuencia relativa de los datos (o el dato) A en el universo de datos U .

3. Interpretación física 1

$I(U)$ = conjunto de acontecimientos de una clase dada.

$I[P(A)]$ = probabilidad del (los) acontecimiento(s) A .

4. Interpretación física 2

$I(U)$ = conjunto de acontecimientos de una clase dada.

$I[P(A)]$ = propensión o disposición a ocurrir del (los) acontecimiento(s) A .

5. Interpretación psicológica

$I(U)$ = conjunto de juicios de una clase dada (por ejemplo, sobre los posibles resultados de una acción).

$I[P(A)]$ = credibilidad (o grado de confianza o certeza) del (los) juicio(s) A .

6. *Interpretación ontológica*

$I(U)$ = conjunto de las posibilidades (hechos posibles) de una clase dada.

$I[P(A)]$ = peso de la posibilidad de A .

Las interpretaciones semántica y estadística dan modelos conceptuales del cálculo de probabilidades; las restantes interpretaciones antes indicadas dan modelos factuales del mismo (cf. sec. 7.4). La interpretación ontológica puede parecer una generalización de la interpretación física por la disposición; con esta interpretación, la teoría de la probabilidad se convierte en la teoría cuantitativa de la posibilidad, que debe distinguirse de las teorías cualitativas de este concepto, como son los varios sistemas de lógica modal. Las interpretaciones ontológicas y físicas contemplan la probabilidad como una propiedad objetiva de las cosas –o, más bien, como propiedades objetivas de conjuntos o secuencias de hechos–, mientras que la interpretación psicológica, al hacer de la probabilidad el complemento de la incertidumbre, la considera como un atributo subjetivo. Las probabilidades subjetivas, tan a menudo confundidas con las objetivas, son conceptual y numéricamente diferentes de ellas: rara vez se conoce con completa exactitud la probabilidad de un hecho dado, y, por tanto, ésta no es idéntica con el grado de credibilidad racional del juicio que expresa ese hecho; si no hubiera tales diferencias entre las probabilidades objetivas y las subjetivas nadie jugaría a los juegos de azar.

Son, pues, posibles varios modelos de la teoría abstracta de la probabilidad. Por tanto, hablando estrictamente, la cuestión ‘¿Qué es la probabilidad?’ no es inequívoca más que en el caso de que no se dé ninguna interpretación o en el caso de que se indique una interpretación determinada. En el primer caso, puede darse una respuesta correcta por medio de la siguiente *Definición 4*: Una función de conjuntos, P , definida para un conjunto total, U , es una (medida de) *probabilidad* si y sólo si satisface los anteriores postulados $P1$ - $P3$. Si se objeta que esta respuesta no arroja luz alguna sobre la *significación* del término ‘probabilidad’, puede aceptarse adecuadamente la objeción diciendo: efectivamente, pero es que los símbolos abstractos carecen de definición, y si se les atribuyen significaciones determinadas se ve que pueden aparecer diferentes contenidos. Consiguientemente, en vez de preguntar ‘¿Cuál es la significación de ‘ P ’?’ hay que preguntar: ‘¿Qué significaciones han sido de hecho correctamente atribuidas a ‘ P ’ hasta el momento?’

La restricción a interpretaciones correctas basta para descartar algunas interpretaciones erróneas bastante difundidas, como la teoría probabilitaria de la verdad. Esta teoría, sugerida por algunos lenguajes ordinarios –especialmente el alemán– en los cuales ‘probabilidad’ es sinónimo de ‘verosimilitud’, identifica el grado de verdad de un enunciado con la probabilidad de que ese enunciado sea *verdadero*. Como el concepto de verdad es así un ingrediente del concepto de probabilidad, identificar la probabilidad con el grado de verdad es cometer un círculo vicioso. (Esto queda de manifiesto cuando se simboliza la idea: $V(s) =_{df} P[V(s) = 1]$. La noción de verdad, que se supone así definida –ser el definiendum– reaparece en el definiens.) El concepto de probabilidad puede servir para dilucidar bastantes otros conceptos (cf. sec. 3.2), pero no es una primitiva universal. En particular, no puede usarse para dilucidar la noción de verdad (parcial), porque este concepto es lógicamente anterior al concepto de enunciado probabilitario: tenemos que po-

ser un concepto de verdad que sea independiente si queremos saber cuál es el valor veritativo de un enunciado probabilístico dado.

La distinción entre la teoría de la probabilidad y sus varias interpretaciones posibles disuelve la vieja —aunque todavía viva— controversia entre los sostenedores de la interpretación subjetivista de la probabilidad como grado de la creencia y los partidarios de la interpretación empirista de la probabilidad como frecuencia relativa. Los subjetivistas y los empiristas hablan necesariamente de cosas distintas, pues están defendiendo interpretaciones distintas posibles de la teoría abstracta de la probabilidad. Ambos contendientes yerran al pretender que la interpretación correcta es la suya, y también yerran los autores, más tolerantes, que admiten dos modelos posibles de la probabilidad (o dos conceptos de la probabilidad). El reconocimiento de la posibilidad de cierto número de interpretaciones del cálculo abstracto de la probabilidad disuelve una confusa disputa y estimula, además, la búsqueda de ulteriores interpretaciones de una misma estructura vacía; por encima de todo eso, nos confirma en nuestra fe en la unidad de la teoría matemática de la probabilidad, unidad ensombrecida por la controversia.

Pero una interpretación *posible* no es necesariamente *verdadera* respecto de los hechos ni, por tanto, aceptable. Hemos visto antes (sec. 7.4) que una interpretación factual de un sistema axiomático abstracto tiene que satisfacer los mismos axiomas de la teoría abstracta (aproximadamente al menos). Ahora bien: la interpretación de la probabilidad por la idea de frecuencia relativa ha sido confirmada satisfactoriamente: las frecuencias se combinan efectivamente como probabilidades, siempre que se admitan fluctuaciones típicas. (Además, el cálculo de probabilidades se construyó inicialmente como una idealización de generalizaciones sobre frecuencia.) Por otro lado, no sabemos aún si las incertidumbres subjetivamente estimadas satisfacen efectivamente los axiomas del cálculo de probabilidades, como prematuramente se dio por supuesto. Mientras no se disponga de más investigación de naturaleza psicológica, seguirá incierta la medida de la probabilidad de la certeza o la creencia. En resolución: la interpretación psicológica de la probabilidad da un modelo posible del cálculo de probabilidades; pero la cuestión de si es factualmente verdadera es cuestión abierta que tiene que zanjar la psicología. Por tanto, de los dos contrarios injustificados, el subjetivista y el frecuentista, el primero es el menos justificado de los dos.

Volvamos ahora al problema general de los componentes de una teoría interpretada (sistema semántico). Sin tener en cuenta los presupuestos de la teoría, su base consta de (i) una lista de *primitivas específicas*; (ii) una lista de reglas de *interpretación* (o de *correspondencia*), que atribuyen significación a algunas de las primitivas (teoría parcialmente interpretada) o a todas ellas (teoría plenamente interpretada), y (iii) una lista de *axiomas* (supuestos no demostrados), fórmulas básicas que interrelacionan las primitivas. Así como una teoría abstracta es un conjunto de supuestos parcialmente ordenado por la relación $\vdash$ de deducibilidad, una teoría interpretada es un conjunto de supuestos parcialmente ordenado por $\vdash$ y con un contenido dado por un conjunto I_n de reglas de interpretación. Esquemmatizando:

$$\text{Teoría} \left\{ \begin{array}{l} \text{Estructura } E = \langle A, \vdash \rangle \text{ sistema sintáctico o teoría abstracta} \\ \text{Modelo } M_n(E) = \langle A, I_n, \vdash \rangle \text{ sistema semántico o teoría interpretada} \end{array} \right.$$

Hay tantos modelos teóricos $M_n(E)$ de una estructura abstracta dada, E , cuantos conjuntos, I_n , de reglas de interpretación (o correspondencia) de los símbolos primitivos. Así, un solo conjunto de ecuaciones puede recurrir en los más varios campos; o sea: una misma estructura puede recibir toda una variedad de contenidos, razón por la cual todos los científicos deberían aprender más o menos la misma matemática.

Aún más: en una teoría dada, un mismo símbolo puede recibir *dos interpretaciones factuales diferentes*, una objetiva y otra operacional u operativa. Así, el físico atómico tiene que distinguir entre un símbolo referente a un sistema no perturbado por operaciones de medición (por ejemplo, un átomo en estado estacionario) y un símbolo referente a un sistema profundamente perturbado por tales operaciones (por ejemplo, el mismo átomo bombardeado por rayos X). En el primer caso el símbolo referirá a una propiedad de un objeto libre; en el último, el mismo símbolo referirá a una propiedad del “mismo” objeto acoplado con un aparato de medición, o sea, a un objeto diferente. En general, diremos que se impone a un símbolo una *interpretación objetiva* si se establece una correspondencia entre el símbolo y una propiedad de un sistema real, independientemente de las condiciones de contrastación. Y diremos que un símbolo adquiere una *interpretación operacional* u operativa si se establece una correspondencia entre el símbolo y resultados de una operación, actual o posible, arbitrada para observar o medir “la misma” propiedad “del mismo” sistema real. Las dos interpretaciones confieren significaciones factuales al símbolo, y las dos pueden asignársele mientras no se confundan.

La anterior distinción se hace ineludible en los casos de los objetos atómicos y subatómicos y de los organismos: en esos casos los sistemas son perturbables por las operaciones de observación o medición. Así, por ejemplo, una partícula microscópica se desviará de su trayectoria espontánea por la luz destinada a localizarla, y la presión sanguínea de un paciente puede aumentar por la mera conciencia de que se la van a medir. Dicho brevemente: un objeto en interacción con nuestros medios de observación puede ser *objetivamente* diferente del objeto libre. La diferencia puede en principio explicarse por la teoría si dicha interacción se incluye en ella: de este modo puede contrastarse empíricamente nuestra imagen del objeto libre, aunque no tengamos ningún acceso empírico a los objetos libres.

La distinción entre la interpretación objetiva y la interpretación operacional de un símbolo teórico no tiene sentido en el contexto del operativismo, para el cual es un sinsentido hablar de objetos libres en el sentido de objetos independientes del operador. Pero esto no tiene por qué apartarnos de la distinción, pues el operativismo se debe a una confusión de la referencia con la evidencia y de la medición con la definición (cf. secs. 3.5 a 3.8). Una distinción imprecisa entre significación objetiva y significación operacional puede dar lugar a confusiones y hasta a inconsistencias semánticas. De acuerdo con la sección 7.2 y con lo que acabamos de ver, podemos decir que una teoría es *semánticamente inconsistente* si se producen en ella alteraciones de la significación, como ocurre cuando un símbolo recibe primero una significación objetiva y de repente se pasa a interpretarlo operacionalmente. Dicho de otro modo: una teoría es semánticamente inconsistente si contiene enunciados con conceptos que no se encuentren entre las primitivas declaradas de la teoría ni estén definidos sobre la base de éstas, sino introducidos de contrabando en la teoría.

*Las interpretaciones corrientes de la teoría de los quanta presentan un defecto de inconsistencia semántica. En efecto; se suele empezar considerando un objeto que existe autónomamente, como un átomo de hidrógeno en el interior del sol, y se concluye reinterpretando las consecuencias de ese punto de partida en base a la idea de interacciones entre el objeto dado (por ejemplo, el distante átomo) y un expediente para la medición, o hasta la inteligencia del operador. Al comienzo no se había supuesto ninguna interacción de ese tipo, ni sus subsiguientes perturbaciones, como resulta claramente del examen de los supuestos iniciales, los cuales no contienen más que variables referentes al objeto mismo, y ninguna que especificara la composición, el estado y el modo de acción del aparato de medición. Estos datos, y algunas veces incluso la consciencia del operador, se introducen de contrabando en la interpretación de las consecuencias lógicas de las fórmulas iniciales. No puede sorprender el que esos desplazamientos de la significación promuevan una caótica proliferación de opiniones sobre la teoría de los quanta, desde el realismo ingenuo hasta el espiritualismo. Si se adopta una interpretación unitaria de la teoría de los quanta sobre la base de las operaciones de laboratorio (preparación, observación y medición), entonces hay que reconocer que esa teoría no se aplicará a objetos de existencia autónoma, tales como átomos no sometidos a esas operaciones. Pero hasta el momento no se ha presentado nunca una interpretación de esa consistencia. (Esa interpretación tendría que contener desde el principio la consideración de los dispositivos de medición, y tendría que prescindir totalmente de términos que, como 'estado estacionario', no pueden tener interpretación operacional, sino sólo objetiva.) Aún más: nadie parece dispuesto a renunciar a la aplicación de la teoría de los quanta a campos externos al laboratorio, como la astrofísica, la cual, en definitiva, no es sino la física de los objetos celestes. Hay que poner el cartel que anuncie: Se busca una interpretación semánticamente consistente y plenamente física de la mecánica de los quanta que pueda en principio aplicarse tanto a objetos autónomos como *—mutatis mutandis—* a objetos sometidos a observación, y tal que los últimos puedan considerarse como simples sistemas físicos más, en interacción con macro-objetos, de un modo puramente físico, que no complique en esas relaciones la mente del observador.

Observemos en seguida que la voluntad de obtener una interpretación semánticamente consistente de la teoría de los quanta no tiene nada que ver con el deseo de eliminar los rasgos estocásticos de la teoría ni con el capricho de contemplar modelos icónicos (gráficos o mecánicos) de la misma. Hemos aprendido ya a vivir contando con el azar; hemos descubierto algunas de sus leyes y hemos llegado, consiguientemente, a darnos cuenta de que el azar no es el caos. Sería sin duda interesante poder analizar las leyes estocásticas de la mecánica de los quanta sobre la base de leyes no probabilísticas que se refirieran a acontecimientos de nivel más profundo; pero no tenemos derecho a suponer que esa posibilidad esté garantizada ni tampoco —y por encima de todo— deberíamos considerarla, si llegara a realizarse, como un análisis conclusivo de todos los análisis. En cuanto al deseo de visualizaciones intuitivas, debemos recordar que no tenemos experiencia sensible de la mayoría de las cosas, y que toda la finalidad de las teorías atómicas consiste en explicar lo perceptible por lo que no es perceptible. Aún más: aunque pudiera darse una interpretación gráfica de algunos rasgos de una teoría, esa interpretación no tendría por qué ser icónica o fotográfica, sino que podría perfectamente ser simbólica, no figurativa. Una

interpretación visualizable de un conjunto de símbolos puede ser simplemente un útil expediente psicológico (heurístico), y todo lo que debemos exigir de ella es que sea consistente y eficaz.

Pero si los correlatos de la teoría son sistemas espaciotemporales, no debe sorprendernos el que *pueda* darse una imagen espacial más o menos nebulosa de la misma: por lo menos, no debemos excluir la *búsqueda* de una tal imagen sólo porque los filósofos convencionalistas proclamen que una teoría científica no es más que un sistema, simbólico para la previsión o predicción. Aún más: no porque fracase una búsqueda de tales imágenes espaciotemporales (aunque simbólicas) debemos concluir que esas imágenes son imposibles por principio. Así, por ejemplo, el fallo de la imagen corpuscular o de la imagen ondulatoria en la representación adecuada de objetos del nivel atómico no prueba el fracaso de otras imágenes y, consecuentemente, no cierra la búsqueda de las mismas. Los programas de investigación pueden fracasar sin ser estériles, puesto que los hombres aprendemos de los fracasos. En cambio, la dogmática prohibición de emprender ciertos programas de investigación —por ejemplo, porque prometen utilidad práctica o porque no concuerdan con determinadas tesis filosóficas— es peor que cualquier número de fracasos, porque limita la libertad de investigación, sin la cual la ciencia se agosta mortalmente.*

Concluyamos. Toda teoría abstracta, o estructura, puede interpretarse de varios modos, parcial o plenamente. A la inversa, si se despoja a una teoría de las reglas de interpretación que le confieren un contenido, queda un esquema puramente sintáctico. La interpretación más simple que puede darse a una teoría abstracta consiste en considerar los objetos de la teoría (los miembros del universo del discurso U) como números naturales; toda estructura sintácticamente consistente permite una tal interpretación que da lo que se llama un *modelo numerable*. En vez de, o además de ese modelo conceptual puede construirse un modelo factual si se añaden las reglas de interpretación adecuadas (referencias y reglas semánticas), pero no toda interpretación es aceptable. Para que una interpretación sea adecuada y, por tanto, aceptable tiene que no ser *ad hoc* (artificial), tiene que satisfacer (aunque no sea más que aproximadamente) los supuestos iniciales de la teoría y tiene que satisfacer la condición de cierre semántico, lo cual es necesario para evitar inconsistencias semánticas (lenguaje ambiguo). Sólo cumplidas esas condiciones puede someterse a contrastación una teoría interpretada (parcial o plenamente); y, como es natural, sólo teorías favorablemente contrastadas son candidatas a la verdad (parcial).

Problemas

7.5.1. Construir un modelo matemático (probabilista) de la secuencia de acontecimientos físicos que ocurren cuando se lanzan simultáneamente tres monedas cierto número de veces. Construir la clase de referencia, constituida por acontecimientos como $\langle C, X, C \rangle$, y computar las probabilidades de los subconjuntos siguientes: (i) el conjunto en el cual sale al menos una cara (C); (ii) el conjunto en el cual salen al menos dos cruces (X); (iii) la unión de (i) y (ii); (iv) la intersección de (i) y (ii). Por último, mencionar algunos aspectos reales despreciados en la construcción del modelo.

7.5.2. Supongamos que tomamos una moneda normal y la lanzamos. La probabilidad de obtener “cara” en cada lanzamiento al azar es de $1/2$. ¿Es esta probabilidad (i) una propiedad física del procedimiento de lanzamiento de la moneda, (ii) una estimación subjetiva del acontecimiento, o (iii) ambas cosas a la vez? ¿Y es cada resultado particular (“cara” o “cruz”) relevante para el valor constante de la probabilidad, $1/2$? O sea, cuando sale “cara”, ¿nos obliga ese resultado a cambiar el valor de la probabilidad de $1/2$ a 1 ? Caso de respuesta negativa: ¿por qué? *Problema en lugar de ése*: ¿Son los enunciados probabilísticos menos ciertos que los que no son probabilísticos? O sea: ¿implica la probabilidad incertidumbre?

7.5.3. Determinar si el siguiente es un caso de (i) inducción, (ii) control estadístico de hipótesis, o (iii) uso de la teoría de la probabilidad como matriz para la concepción de hipótesis. Conocimiento factual básico: una urna contiene 7 bolas. Problema: averiguar la composición más probable de la urna. Observación disponible: extracción al azar con reposición de la bola en la urna después de cada extracción. Supongamos, por concretar, que tres extracciones sucesivas han dado 2 bolas negras y 1 de color. Como hay un total de 7 bolas, dos de las cuales por lo menos son negras y una de color, las hipótesis posibles son:

h_1 = “La urna contiene 2 bolas negras y 5 de color.”

h_2 = “La urna contiene 3 bolas negras y 4 de color.”

h_3 = “La urna contiene 4 bolas negras y 3 de color.”

h_4 = “La urna contiene 5 bolas negras y 2 de color.”

h_5 = “La urna contiene 6 bolas negras y 1 de color.”

7.5.4. Existe la tendencia a considerar todo porcentaje como la contrapartida empírica de una probabilidad. ¿Es realmente todo porcentaje interpretable como el valor medido de una probabilidad, o es necesario para una tal interpretación la satisfacción de ciertas condiciones? Si este último es el caso, ¿cuáles son esas condiciones?

7.5.5. El uso en física de la frase ‘valor de la expectativa’ (que en realidad expresa la media estimada), ¿nos obliga a admitir la interpretación subjetivista de la probabilidad?

7.5.6. Discutir las siguientes tesis sobre la teoría de la probabilidad y la teoría estadística (estadística matemática). (i) La teoría estadística es una rama de la teoría de la probabilidad, la cual, a su vez, es una rama de la teoría de la medición. (ii) La teoría de la probabilidad es idéntica con la teoría estadística, la cual es a su vez una ciencia natural (la matemática de los fenómenos de masa. (iii) La teoría de la probabilidad es una teoría matemática, y la teoría estadística es una aplicación de la teoría de la probabilidad a problemas científicos que requieren el uso de modelos estocásticos, la aplicación se obtiene interpretando ‘probabilidad’ como frecuencia relativa en una secuencia casual.

7.5.7. ¿Nos obliga la interpretación de la probabilidad como frecuencia relativa a admitir la definición de la probabilidad como el límite de una frecuencia? ¿Es matemáticamente sostenible una tal definición? J. Ville, *Étude critique de la notion de collectif*, París, Gauthier-Villars, 1939; M. Fréchet, *Les mathématiques et le concret*, París, Presses Universitaires de France, 1946, y M. Bunge, “Two faces and three masks of probability”, en E. Agazzi (comp.), *Probability in the Sciences*, Dordrecht, Kluwer, 1988.

7.5.8. Se toma a menudo como dado que la teoría de la probabilidad es una clase de lógica (la “lógica del azar”) y, más precisamente, una lógica más general que la lógica ordinaria de dos valores: así se afirma que la teoría de la probabilidad es una lógica multivalorada, con una infinidad de valores veritativos entre la falsedad simple ($p = 0$) y la verdad simple ($p = 1$). Examinar esa opinión. En particular, determinar si el cálculo de probabilidades no usa la lógica ordinaria (de dos valores) y si constituye una dilucidación adecuada del concepto de grado de verdad. Cf. M. Bunge, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

7.5.9. Supongamos que traemos un determinado microbio al aula. La probabilidad de que el microbio esté en el aula es entonces igual a la unidad. Pidamos ahora a alguien que busque el microbio. La probabilidad de que esa persona *encuentre* el microbio, ¿será igual a la probabilidad de que el microbio *esté presente* en el aula? Entiéndase esto como un ejercicio de epistemología que apunta ya al problema siguiente. Dicho sea de paso, el problema puede formularse y resolverse rigurosamente en el marco de la teoría de la investigación o búsqueda, que es una rama de la investigación operativa. Cf., por ejemplo, J. De Guenin, "Optimum Distribution of Effort", *Operations Research*, 9, 1, 1961.

7.5.10. En microfísica, la posición de una partícula se representa por una variable aleatoria, esto es, una variable cuyos valores son probabilidades. En la literatura física se encuentran frases como las siguientes: (i) 'La probabilidad de que el electrón *se encuentre* en el intervalo $[x, x + dx]$ es igual a $p(x)dx$ ', y (ii) 'La probabilidad de que *se encuentre* el electrón en el intervalo $[x, dx]$ cuando *se mide* su posición es igual a $p(x)dx$ '. ¿Son esas dos frases equivalentes? ¿Pueden ser conceptual y numéricamente idénticas esas dos probabilidades? ¿Pertenece a los dos problemas —el de calcular la probabilidad de la presencia efectiva y el de calcular la probabilidad del hallazgo— al mismo sistema de problemas? Indicación: Recordar las diferencias entre las interpretaciones objetiva y operacional de un mismo símbolo, distinción esbozada en el texto, y recordar también el problema 7.5.9. *Problema en lugar de éste*: Algunos experimentos indican que la relación entre probabilidades subjetivas y objetivas es la ley psicofísica de Stevens (problema 5.4.10). Aplíquese esta hipótesis al caso de dos sucesos aleatorios mutuamente disjuntos (probabilidad total $= p_1 + p_2$) y averigüese la consecuencia para la interpretación subjetivista (bayesiana) de la probabilidad.

7.6. *DESIDERATA FORMALES

Terminaremos este capítulo repasando los requisitos formales que debe satisfacer una teoría perfecta: consistencia formal (interna y externa), independencia de las primitivas e independencia de los axiomas. Expondremos y estimaremos estos desiderata.

La consistencia formal interna es el desiderátum de mayor importancia. Se dice que un conjunto de fórmulas es *formalmente consistente* si y sólo si no contiene contradicciones. O lo que es igual: un conjunto de fórmulas es formalmente inconsistente si y sólo si contiene una fórmula y su contradictoria y, consiguientemente, la conjunción de las dos, o sea, una autocontradicción. Por ejemplo, el conjunto de fórmulas $x + y = z$, $x - y = z > 0$ es inconsistente, porque restando la segunda de la primera obtenemos $y = 0$, que contradice la tercera. La consistencia puede conseguirse en este caso abandonando la tercera fórmula. Generalmente la consecución de la consistencia requiere más esfuerzo; y hay quien no la consigue nunca.

¿Por qué apreciamos la consistencia formal? Porque la inconsistencia, o sea, la contradicción, produce una secuencia infinita de fórmulas, verdaderas y falsas; efectivamente, por el teorema [7.4] una falsedad lógica implica cualquier cosa. Si se permite que quede una contradicción en un conjunto de fórmulas, entonces (i) se desdibuja la distinción entre verdad por derivación y falsedad por derivación, y (ii) cualquier información empírica puede contar como evidencia favorable para una hipótesis del conjunto o para otra. Y como deseamos evitar esas fáciles maniobras que permite la inconsistencia, exigimos la

consistencia formal como una condición lógica *absoluta* para toda teoría científica. Otro motivo es la posibilidad de hallar por lo menos un modelo para cada una de nuestras teorías; efectivamente, la teoría de los modelos enseña que una teoría admite un modelo si y sólo si es formalmente consistente.

Además de la consistencia interna exigimos, o deseamos al menos, la *consistencia externa*, esto es, la consistencia de toda teoría factual con toda otra teoría (no rival) del mismo campo o de campos adyacentes. Deseamos la consistencia externa por las siguientes razones. Primero, la explicación y la predicción de cualquier hecho real requiere la cooperación de cierto número de teorías, aproximadamente una para cada aspecto del hecho; piénsese, por ejemplo, en el número de teorías implicadas en la predicción de la órbita de un satélite artificial. Si esas teorías no fueran mutuamente consistentes, podría derivarse cualquier cosa de la conjunción de sus supuestos iniciales y, por tanto, las “explicaciones” serían demasiado acomodaticias y las “predicciones” no tendrían ningún valor empírico, puesto que para cada previsión podríamos calcular también su negación. Segundo: la consistencia externa se maneja como una contrastación para averiguar la verdad. Así, por ejemplo, una teoría química inconsistente con la física, o una teoría sociológica inconsistente con la biología, tienen que rechazarse sin esperar los resultados de contrastaciones. En resolución: es deseable la *consistencia general* de la ciencia; esa consistencia es necesaria para la sistematización de los hechos reales, que son complejos, y posibilita el control recíproco de sus varias partes.

¿Cómo podemos reconocer la inconsistencia? En casos simples, el sello de la consistencia es simplemente la verdad de los diversos supuestos del sistema. Pero ¿qué decir de un sistema abstracto (sin interpretar) o de un conjunto de hipótesis de alto nivel interpretadas, que no pueden reconocerse inmediatamente como verdaderas —y tal es el caso de las teorías científicas? La base axiomática puede ser tan compleja que esconda una contradicción; podemos derivar cierto número de teoremas; recíprocamente consistentes, y hasta verdaderos, antes de dar con un par de proposiciones mutuamente contradictorias. La *definición* de consistencia no ofrece ninguna ayuda en este caso, que es el de casi todas las teorías científicas. Además de la definición, necesitamos un *criterio* de consistencia y, de ser posible, un procedimiento de decisión, o sea, una regla que pueda aplicarse “mecánicamente” para conseguir una decisión inequívoca, o sea, una respuesta “sí” o “no”, para cada pregunta de la forma “¿es *T* consistente?”

Un criterio simple para conjuntos de proposiciones es el de Bernays que supone una interpretación aritmética del cálculo proposicional. El *criterio de decisión de Bernays* se maneja del modo siguiente. Primero se escriben todos los axiomas de la teoría dada sin más ayuda que la negación y la disyunción. En segundo lugar se atribuyen alternativamente los valores 0 y 1 a cada una de las proposiciones componentes, con las convenciones “ $\neg 0 = 1$ ”, “ $\neg 1 = 0$ ”, “ $0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0$ ”. Tercero: tratar toda disyunción como un producto aritmético, y calcular según eso el valor total de cada axioma. (Por ejemplo, el valor de “ $p \vee \neg p$ ” es: $1 \cdot (\neg 1) = 1 \cdot 0 = 0$.) Cuarto: declarar consistente el sistema si y sólo si todos sus axiomas reciben por el cálculo el mismo número, e inconsistente en otro caso. Tomemos, por ejemplo, el conjunto de fórmulas $A = \{p, \neg q, p \rightarrow q\}$. El tercer supuesto es claramente inconsistente con la afirmación conjunta de las dos primeras fórmulas, porque afirmar $p \rightarrow q$ es afirmar que es falso que p sea verdadero y q falso; además: del primero

y el tercero derivamos (por *modus ponens*) q , que es la contradictoria de la segunda premisa. La regla de Bernays da

A1	p	1	0
A2	$\neg q$	1	0
A3	$\neg p \vee q$	$0 \cdot 0 = 0$	$1 \cdot 1 = 1$

Resultado: inconsistente.

Obsérvese que la subteoría de base A1 y A2 es consistente, de modo que esos axiomas pueden salvarse si vale la pena; y si, al contrario, es A3 el que está mejor confirmado que A1 o A2, se mantendrá el primero. O sea: el requisito de consistencia no nos obliga a abandonar una entera teoría: puede valer la pena *intentar eliminar las inconsistencias* de una teoría algunos de cuyos supuestos hayan prestado ya servicios valiosos. Esto presupone la identificación y la eliminación de los supuestos causantes de la inconsistencia. Una teoría parcialmente consistente, y, con ello, parcialmente verdadera y fecunda, es más valiosa que una teoría completamente consistente, pero sin interés, falsa o, simplemente, superficial. Esto no quiere decir que pueda prescindirse de la consistencia, sino que ésta es un desideratum que, como cualquier otro, puede no quedar satisfecho en el primer momento (cf. sec. 8.4).

*El procedimiento de decisión recién expuesto no es aplicable más que si puede atribuirse un valor veritativo a todos y cada uno de los axiomas. Esta condición no se cumple si los axiomas de la teoría son funciones proposicionales o si no han sido contrastados para establecer su verdad. En estos casos se atribuye a las primitivas de la teoría una interpretación *ad hoc*, así como contrastaciones para el modelo resultante. Si los axiomas interpretados se reconocen como verdaderos en algún sentido, se declara que la teoría abstracta misma es consistente. La tarea es fácil —una vez establecidas las reglas de interpretación adecuadas— si las primitivas pueden recibir significaciones aritméticas. Dicho brevemente: se dice que una teoría abstracta es consistente si y sólo si es *satisfactible*, o sea, si hay por lo menos una interpretación de sus primitivas que produzca un modelo aceptable. El fundamento de esta regla es intuitivo: las fórmulas de un conjunto no pueden ser verdaderas todas a la vez más que si no se contradicen unas con otras. Dicho de otro modo: ningún conjunto inconsistente de fórmulas tiene un modelo; y, a la inversa, el tener un modelo es una condición suficiente para que una teoría sea consistente. Razón: por la definición de “modelo” toda fórmula del conjunto inicial tiene que valer en sus modelos, condición que no puede cumplir una contradicción.

Averigüemos, a título de ejemplo, si los axiomas de la teoría de grupos dados en el problema 7.4.2. son consistentes unos con otros. Los volvemos a escribir aquí para tenerlos a la vista:

- G1 $(x)_U (y)_U (z)_U [x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z]$
- G2 $(x)_U (x \circ e = x)$
- G3 $(x)_U (x \circ x^{-1} = e)$

Las variables individuales x, y, z tienen todas el campo constituido por el conjunto U ;

la constante e , el operador monádico⁻¹ y el operador binario ' o ' son primitivas sin especificar. No se dice nada acerca de esos símbolos, salvo el modo como se combinan entre ellos. Construyamos dos modelos de esta teoría abstracta.

Modelo 1 (adición aritmética)

$$\begin{aligned} I(U) &= \text{conjunto de los enteros} \\ I(e) &= 0 \\ I(o) &= + \\ I(x^{-1}) &= -x \end{aligned}$$

Modelo 2 (multiplicación aritmética)

$$\begin{aligned} I(U) &= \text{conjunto de los enteros} \\ I(e) &= 1 \\ I(o) &= \cdot \\ I(x^{-1}) &= 1/x \end{aligned}$$

Con esas interpretaciones, $G1$ se convierte en la ley asociativa de la suma de enteros (Modelo 1) o del producto de enteros (Modelo 2); $G2$ se convierte en una caracterización parcial del número cero (Modelo 1) o de la unidad (Modelo 2); y $G3$ se convierte en una definición implícita de la sustracción (Modelo 1) o de la división (Modelo 2). Esto completa la demostración de la consistencia del conjunto axiomático $G1$ - $G3$.*

Una tercera propiedad formal que desea tengan las teorías axiomáticas es la *independencia de las primitivas*, o sea, que las primitivas de la teoría sean recíprocamente independientes. Se dice que un conjunto de conceptos es *independiente en una teoría dada* si y sólo si esos conceptos no son interdefinibles, aunque algunos o todos sean definidos en otras teorías. He aquí un *método de contrastación* de la independencia de las primitivas (A. Padoa). Supongamos que se ha atribuido una significación a cada primitiva de una teoría. Reinterpretar la primitiva considerada y examinar si los axiomas siguen satisfechos después de esta reinterpretación parcial; si lo son, el símbolo reinterpretado es independiente de las demás primitivas de la teoría. El procedimiento se aplica sucesivamente a todas las primitivas de la teoría hasta que quede demostrada o refutada su independencia. El fundamento de esta regla es el siguiente: con una reinterpretación parcial se cambia arbitrariamente desde fuera la significación de la primitiva examinada, o sea, su significación no queda especificada (y aún menos definida) por los restantes conceptos básicos de la teoría, los cuales son por tanto independientes de aquella. Ejemplo: Sean U y o los conceptos básicos de una teoría, siendo U un conjunto de dos miembros y o una operación binaria. Un modelo posible queda determinado por las reglas de interpretación $I_1(U) = \{0, 1\}$, $I_1(o) = +$. Ahora reinterpretemos o , pero no U : $I_2(U) = I_1(U)$, $I_2(o) = \cdot$, lo cual tiene tanto sentido como el modelo anterior. Conclusión: U y o son efectivamente ideas con independencia recíproca.

He aquí otro método para contrastar la independencia de los conceptos básicos, algo más complicado (tomado, con adaptaciones, de J. C. C. McKinsey). Supongamos que T

es una teoría con los siguientes candidatos a conceptos primitivos: un conjunto U de subconjuntos S_i , un conjunto de relaciones R_i y un conjunto de operaciones O_i . Diremos que uno de los subconjuntos, S_1 por ejemplo, es *dependiente* de las demás primitivas de la teoría si y sólo si puede demostrarse en T que

$$Df.1 \quad x \text{ pertenece a } S_1 \leftrightarrow F(x; S_2, \dots; R_1, \dots; O_1, \dots) \quad [7.36]$$

Análogamente, R_1 dependerá de las demás presuntas primitivas si y sólo si T contiene un teorema tal que (suponiendo, por concretar, que R_1 sea una relación binaria)

$$Df.2 \quad R_1(x, y) \leftrightarrow G(x, y; S_1, \dots; R_2, \dots; O_1, \dots) \quad [7.37]$$

Y O_1 , será dependiente si y sólo si T contiene un teorema que (suponiendo que O_1 sea una operación diádica)

$$Df.3 \quad x O_1 y = H(x, y; S_1, \dots; R_1, \dots; O_2, \dots) \quad [7.38]$$

siendo F , G y H funciones de un solo valor. Diremos que una primitiva es *independiente* si y sólo si no es dependiente.

El anterior conjunto de definiciones es desde luego inadecuado como criterio de independencia, porque puede ser que la existencia de los teoremas que supone no sea demostrable en el curso de una vida humana. El *método de McKinsey*, basado en esas definiciones, opera del modo siguiente. Primero: interpretar todas las nociones candidatas al estatuto de primitivas, o sea, hallar un modelo $M_1(T)$ de la teoría T . Llamemos $I_1(S_i)$, $I_1(R_i)$ e $I_1(O_i)$ las interpretaciones de los S_i , R_i y O_i respectivamente. Segundo: hallar un segundo modelo de la teoría, tal que sólo se reinterprete una de las primitivas, por ejemplo S_1 , mientras que los demás candidatos ($i \neq 1$) conservan sus significaciones anteriores; llamaremos $I_2(S_1)$ esa reinterpretación de S_1 . Si se encuentra esa reinterpretación parcial de T , o sea, si puede alterarse la significación de ' S_1 ' sin cambiar el valor veritativo, entonces S_1 no depende de las demás primitivas, o sea, es independiente. Pero si no es posible una reinterpretación de S_1 sin tener que practicar reajustes de los demás conceptos básicos, entonces S_1 depende de éstos. Análogamente para las demás nociones candidatas al estatuto de primitivas.

Justificación del método: si S_1 fuera dependiente de las demás primitivas, entonces, por la definición [7.36],

$$x \text{ pertenece a } S_1 \leftrightarrow F(x; S_2, \dots; R_1, \dots; O_1, \dots)$$

Como las relaciones formales entre los conceptos básicos de la teoría tienen que ser invariantes respecto de la interpretación, tendríamos:

$$x \text{ pertenece a } I_1(S_1) \leftrightarrow F(x; I_1(S_2), \dots; I_1(R_1), \dots; I_1(O_1), \dots), \text{ de donde:}$$

$$x \text{ pertenece a } I_1(S_1) \leftrightarrow x \text{ pertenece a } I_2(S_1).$$

Pero esta equivalencia es falsa, puesto que, por hipótesis, las dos interpretaciones de S_1 son diferentes, o sea, el conjunto $I_1(S_1)$ no contiene todos los elementos del conjunto $I_2(S_2)$. Consiguientemente, el supuesto de dependencia es falso. O sea, S_1 no depende de las demás primitivas. Análogamente para los conceptos relacionales y de operaciones.

Los métodos para contristar la independencia de las primitivas pueden parecer un mero lujo pero, de hecho, son valiosos para la teoría y para la práctica. Lo primero, porque esas pruebas establecen cuáles son los conceptos básicos necesarios y suficientes de una teoría, y orientan primordialmente la atención del investigador de fundamentos hacia esos símbolos, y no a los derivativos. La utilidad práctica de las discusiones sobre la independencia de las primitivas consiste en que desarmen la tendencia a prescindir de ciertos conceptos básicos que parecen sospechosos a alguna escuela filosófica, y aclara las discusiones acerca de la significación (por ejemplo, la interpretación física) de los símbolos teóricos. Por ejemplo, una discusión lógica del estatuto de los conceptos “masa” y “fuerza” en la mecánica clásica nos habría ahorrado los desorientados intentos de definirlos explícitamente, eliminándolos así como conceptos básicos. De hecho, la técnica de Padoa, que estaba elaborada ya en 1899, muestra que esos conceptos son primitivos en la mecánica newtoniana. Para comprobarlo recordaremos que m y f se relacionan por la ley de Newton-Euler “ $f = ma$ ”. Si atribuimos a f la interpretación (numérica) 0, obtenemos $0 = ma$. Esta ecuación puede satisfacerse de infinitos modos, atribuyendo a m valores cualesquiera. Como hay una infinidad de interpretaciones (numéricas) de m que son consistentes con la interpretación $I(f) = 0$, concluimos que ni la masa puede definirse sobre la base de la fuerza ni a la inversa. La interpretación de la mecánica clásica por Mach es, pues, lógicamente falsa, y lo mismo le ocurre a los centenares de libros de texto que le siguen como si fuera la última palabra.

Una cuarta propiedad formal que deberían tener las teorías perfectas es la *independencia de los axiomas*. Un sistema axiomático es independiente si y sólo si sus miembros no son intertraducibles, o sea, si ninguno de ellos es derivable de los demás (aunque pueda resultar ser un teorema de otra teoría). La independencia de los axiomas, es, para enunciados básicos, el análogo de la independencia de las primitivas, que puede ser verdadera de los conceptos básicos. El método usual para averiguar la independencia de los axiomas es muy paralelo del que se usa para la independencia de las primitivas. Consta de las siguientes reglas. Dar una interpretación a cada primitiva de la teoría, de tal modo que todos los axiomas excepto uno, A_i , quedan satisfechos; dicho de otro modo: hallar un modelo que no lo sea de A_i . Si se encuentra una tal interpretación, A_i no puede ser una consecuencia de los demás axiomas. Dicho brevemente: si todos los axiomas excepto A_i quedan satisfechos por una interpretación determinada de las primitivas, entonces A_i es independiente. Este procedimiento se aplica a cada miembro del sistema axiomático hasta que quede demostrada (o refutada) la independencia completa. He aquí otro procedimiento equivalente: formar un nuevo sistema constituido por $\neg A_i$ y los demás axiomas; si el sistema resultante es consistente, hemos mostrado que la presencia de A_i no afecta a los demás supuestos, o sea que A_i es independiente de los demás axiomas. Pues si A_i se siguiera de éstos, tendría que aparecer una contradicción al poner en conjunción esos otros axiomas con $\neg A_i$. Este procedimiento es sintáctico, mientras que el antes descrito es semántico.

Es deseable, pero no obligatorio, que la base axiomática de una teoría sea indepen-

diente. Hay una primera razón de carácter científico: si los supuestos básicos de una teoría son recíprocamente independientes, podemos producir un número ilimitado de sistemas por el procedimiento de sustituir cualquiera de sus axiomas por un supuesto diferente relativo a los mismos objetos. En particular, podemos sustituir cada axioma por su negación. Así se produjeron de hecho las primeras geometrías no-euclidianas, sustituyendo el postulado euclidiano de la paralela por otros postulados. El valor de la independencia de los axiomas en la construcción y reconstrucción de teorías resulta muy visible cuando se tienen datos que refutan claramente uno o más axiomas y son en cambio neutrales respecto de los demás (precisamente porque son independientes). En esos casos es posible un honrado reajuste, nada *ad hoc*, de la teoría. Otra razón para estimar la independencia de los axiomas es metateorética: es un principio de buen orden el poner todos los supuestos iniciales aparte de sus consecuencias lógicas aunque no sea más que para poder revisar en cualquier momento las derivaciones. Hay una tercera razón pragmática: al reducir un sistema a componentes independientes evitamos la formulación doble de una misma idea, una vez como axioma y otra como teorema: la independencia ahorra tiempo. Por último, no hará falta decir que la independencia de las primitivas y la de los axiomas, que son propiedades formales, no perjudican en absoluto la unidad conceptual que se supone posee toda teoría (cf. sec. 7.2).

La consistencia formal interna y externa, la independencia de las primitivas y la de los axiomas son todo lo que podemos esperar de una teoría por lo que hace a su forma. Cuando una teoría satisface esas condiciones y, además, contiene una enumeración explícita y completa de sus primitivas y de sus reglas (sintácticas y semánticas), se dice que está *formalizada*. Una teoría formalizada puede tener contenido factual o carecer de él, y no debe confundirse con un sistema *formal*. Las teorías formales, formalizadas o no, carecen del correlato objetivo; y algunas de ellas, las teorías abstractas, formalizadas o no, carecen incluso de contenido determinado, o significación. La formalización se refiere a la organización, no al contenido; y las teorías formalizadas, en lógica o en física, no son sino teorías idealmente organizadas. Como la mayoría de los ideales, la formalización no nos interesa porque pueda encontrarse en cualquier sitio, sino precisamente porque no es fácil dar con ella. Volveremos a hablar de esto en la sección 8.3.

Se han propuesto a veces otros desiderata formales, entre ellos la economía y la completitud; pero hay razones de peso para no reconocerlos. La *economía formal* de los fundamentos de una teoría es la pobreza de conceptos primitivos y la simplicidad sintáctica de las relaciones básicas entre las primitivas, o sea, de los axiomas de la teoría. Aunque hubiera medidas adecuadas de la simplicidad formal, y por deseable que ésta sea por razones estéticas y para fines metateoréticos (como las demostraciones de consistencia), la economía formal no tiene por qué guiar la construcción de teorías. Una razón de esta tesis es que la pobreza de predicados extralógicos, o sea, la economía en la base de conceptos primitivos, puede conseguirse siempre por el simple procedimiento de pasar por alto los conceptos, o sea, ignorando rasgos de los objetos de la teoría. Análogamente, los supuestos básicos pueden simplificarse todo lo que se quiera despreciando complejidades en las relaciones entre aquellos aspectos. Pero con todo eso sufrirá la verdad. Sin duda hay que evitar primitivas redundantes, así como complicaciones innecesarias en sus relaciones recíprocas iniciales (axiomas). Pero esas complicaciones son ya objeto de la regla

metodológica: “No sentar opiniones arbitrarias (infundadas y no contrastables).” En la ciencia factual la simplicidad tiene un valor en la medida en que no entra en contacto con la fundamentación óptima, la contrastabilidad y la corroboración. Aún más: la economía en la base del sistema no coincide con la simplicidad ni la visualizabilidad del desarrollo del sistema, o sea, no contribuye a facilitar la interpretación.

Hablemos, por último, de la completitud. Se dice que una teoría es (deductivamente) *completa* si y sólo si no pueden introducirse en la teoría nuevas fórmulas que no puedan derivarse de sus axiomas, aunque sea con la ayuda de definiciones. O, lo que es igual: una teoría es deductivamente completa si y sólo si, para todo par de fórmulas recíprocamente contradictorias, o la una o la otra es derivable en la teoría. Si se añade a la teoría una fórmula que no sea derivable, se producirá una contradicción si la teoría es completa, y, en cambio, no se producirá ninguna catástrofe si la teoría es incompleta. Dicho de otro modo: una teoría es (formalmente) completa si no puede ampliarse sin incurrir en contradicción; es incompleta si puede ampliarse sin contradicción, si puede crecer y seguir siendo consistente. Según esto puede indicarse el siguiente procedimiento para averiguar la completitud. Cuando se añade una premisa al conjunto inicial de supuestos, éste es completo si el conjunto así enriquecido es inconsistente o si la nueva fórmula resulta derivada del viejo conjunto. Advertencia: no hay que confundir la completitud formal con la completitud semántica, que es el agotamiento del campo estudiado. Como veremos en seguida, la completitud semántica exige la incompletitud formal.

Con la excepción de ciertas teorías formales elementales, como el cálculo proposicional y el cálculo de predicados de primer orden, todas las teorías consistentes y suficientemente ricas —como la aritmética elemental— *tienen* que ser incompletas, o sea, pueden ampliarse sin contradicción: ésta es la sustancia de uno de los teoremas de incompletitud de K. Gödel. Como la consistencia es un desideratum absoluto y como deseamos disponer de las teorías más ricas posibles, tenemos que abandonar la completitud formal como desideratum para las teorías lógicas y matemáticas. A fortiori tenemos que abandonarla respecto de la ciencia factual, puesto que ésta presupone la ciencia formal.

Pero hay una diferencia: mientras que en la ciencia formal nos apartamos con disgusto de la completitud formal y la consideraremos como un paraíso perdido, en la ciencia factual tenemos que considerar la completitud formal como algo precisamente indeseable. Efectivamente: la capacidad de absorber nuevas premisas emparentadas con los supuestos básicos —como las hipótesis auxiliares y los datos empíricos— es un desideratum de las teorías factuales porque deseamos aplicarlas a casos particulares, y cada una de esas aplicaciones exige la introducción de nueva información y nuevos supuestos. Por definición, una teoría formalmente completa no puede ampliarse aceptando fórmulas externas. Ahora bien: recordando la caracterización de las teorías axiomáticas (cf. sec. 7.3), nos damos cuenta de que la completitud formal es equivalente a la *axiomatizabilidad*. Así confirmamos nuestra anterior conclusión: la plena axiomatización es indeseable en la ciencia factual. Dicho de modo no negativo: la axiomatización (la completitud formal) es deseable para el *núcleo* de la ciencia factual exclusivamente, o sea, para el conjunto de sus supuestos generales. La incompletitud formal (la axiomatizabilidad parcial) queda más que compensada por la capacidad de desarrollo y aplicación, o sea, por la apertura a la nueva experiencia (cf. sec. 7.3).

Ahora bien: si una teoría es incompleta –como lo será toda teoría consistente y discretamente rica–, entonces será incapaz de cubrir todo problema emparentado con ella. Dicho de otro modo: la incompletitud va acompañada hasta cierto punto por la *irresolubilidad* (respecto de la teoría dada). Supongamos, en efecto, que un determinado problema Π está bien planteado y bien concebido en el marco suministrado por una teoría T . Se dirá que el problema Π es *resoluble* en T si y sólo si T contiene fórmulas de las cuales pueda derivarse una solución $S(\Pi)$ a Π . En otro caso Π será irresoluble en T , aunque pueda resultar resoluble en otra teoría. Dicho brevemente: π es resoluble en T si y sólo si $T \vdash S(\Pi)$. Ahora bien, si T es formal y semánticamente completa permitirá una derivación de la solución. En cambio, si T es incompleta en algún sentido, como es propio de una teoría factual bien desarrollada, entonces $S(\Pi)$ puede no ser derivable en T . Dicho de otro modo: no *todo* problema es resoluble en una determinada teoría factual, aunque pueda plantearse en su contexto. El remedio consistirá en construir una teoría más rica en la cual sea resoluble el problema dado; pero la nueva teoría será incompleta también ella, y dejará abiertos otros problemas.

Teniendo todo eso en cuenta, es sorprendente que se diga con elogio de alguna teoría factual –como la actual mecánica de los quanta– que es completa, que no necesita complementarse con otras teorías. El efecto de una creencia tan injustificada es la eliminación de todos los problemas que no pueden resolverse con las teorías disponibles en un momento dado. En cambio, el reconocimiento de la incompletitud esencial de toda teoría que incluya la aritmética invita a manejar los problemas actualmente irresolubles mediante la construcción de nuevas teorías más fuertes.

Esto completa nuestro esquemático tratamiento de la sintaxis y la semántica de las teorías, campo de la ciencia que está en rápida expansión. Pasemos ahora del análisis de la interioridad de las teorías terminadas al proceso de la construcción de teorías y a la relación de la teoría con el hecho.

Problemas

7.6.1. Una persona formula la (inverosímil) generalización inductiva: “Todos los lunes hace buen tiempo.” Para explicar esta hipótesis de nivel bajo formula los siguientes axiomas:

A1 El tiempo cambia diariamente de bueno a malo o a la inversa.

A2 Todos los domingos hace mal tiempo.

Mostrar que en esos axiomas se esconde una contradicción.

7.6.2. Si se da una interpretación aritmética a un sistema consistente de proposiciones lógicamente verdaderas (tautologías), entonces todas las fórmulas del conjunto tienen el valor 0, cualesquiera que sean los valores (0 o 1) que tomen las constituyentes proposicionales de cada fórmula. A la inversa, si todos los axiomas de un sistema toman el valor 0 en esa interpretación, entonces se trata de un sistema consistente de tautologías. Mostrar que tal es el caso con los axiomas del cálculo proposicional propuestos por Hilbert y Ackermann:

$$(p \vee p) \rightarrow p \quad [7.39]$$

$$p \rightarrow p \vee q \quad [7.40]$$

$$p \vee q \rightarrow q \vee p \quad [7.41]$$

$$(p \rightarrow q) \rightarrow [(r \vee p) \rightarrow (r \vee q)] \quad [7.42]$$

7.6.3. Considerar el conjunto axiomático

$$\begin{array}{ll} A1 & p \rightarrow q \\ A2 & q \rightarrow r \\ A3 & r \end{array}$$

¿Es consistente? ¿Es independiente? ¿Es completo? *Problema en lugar de ése*: ¿Cómo puede someterse un sistema de ecuaciones algebraicas lineales a una prueba de compatibilidad (consistencia)?

7.6.4. ¿Qué pensaba Spinoza al escribir que su sistema de ética estaba tratado a la manera geométrica (*more geometrico tractata*)? ¿Qué había utilizado la geometría, en el sentido de que los axiomas y las derivaciones eran matemáticas? ¿O que su sistema estaba organizado imitando la geometría euclidiana, el único sistema axiomático conocido en aquel tiempo (por el 1660)? *Problema en lugar de ése*: Simbolizar el conjunto axiomático de Spinoza y averiguar si es consistente, independiente y completo.

7.6.5. Cambiar uno cualquiera de los postulados [7.23] a [7.25] de la teoría elemental de la probabilidad (cf. sec. 7.5) sin hacer reajustes en los otros dos. Por ejemplo, cambiar el primer postulado, el que exige que la medida de la posibilidad sea un número positivo, exigiendo que sea no positivo, o cambiar el segundo postulado poniendo ahora " $P(U) = 0$ ". ¿Es consistente el nuevo sistema? ¿Y producirá necesariamente inconsistencias todo nuevo cambio de ese tipo?

7.6.6. Examinar la filosofía estructuralista (o semántica) propuesta por P. Suppes, J. Sneed, W. Stegmüller y C. U. Moulines. Ella reposa sobre la confusión entre el concepto matemático de modelo (como ejemplo de una teoría abstracta) y el concepto de modelo teórico utilizado en ciencia y técnica. Por consiguiente no incluye el concepto de verdad factual ni el de hipótesis semántica (o correspondencia entre concepto y hecho). Véase C. Truesdell, *An Idiot's Fugitive Essays on Science*, cap. 39, Nueva York, Springer, 1984.

7.6.7. Exáminese la tesis hermenéutica de que la mejor manera de conocer el mundo social no es investigarlo científicamente, sino narrando historias ("descripciones gruesas") acerca de nosotros mismos y otros. Averiguar si este enfoque puede dar cuenta de hechos macrosociales tales como crisis económicas y guerras ¿Cómo se pone a prueba la verdad de tales "historias"? ¿O será que los hermeneutas eluden el problema de la verificación? Véase C. Geertz, *Local Knowledge*, Nueva York, Basic Books, 1983, y M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven, Yale University Press, 1996 [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

7.6.8. Cuanto menor es el número de axiomas de una teoría, tanto menor es el peligro de inconsistencia. Si la base de una teoría se limita a un solo enunciado autoconsistente (por ejemplo, un principio de variación), el riesgo de inconsistencia se anula. Describir este procedimiento y averiguar si se usa en la ciencia contemporánea. Y decidir si una tal técnica da de sí la teoría más simple posible. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el papel de la contradicción en la ciencia como motivación de nuevo trabajo teórico destinado a superar la inconsistencia.

7.6.9. A veces, cuando una teoría no arroja los resultados correctos en algún campo, se le añade una hipótesis *ad hoc* que produzca el resultado deseado, aunque dé lugar a otros incorrectos en otros campos. Por ejemplo, en la teoría del estado sólido se añade una ficticia variable de spin al operador de energía, lo cual da los niveles de energía correctos, pero valor falso para el spin. Examinar este tipo de procedimiento a la luz de la exigencia de consistencia lógica. *Problema en lugar de ése*: ¿Funciona toda definición como criterio? ¿Qué propiedades deben tener las definiciones para poder servir de criterios?

7.6.10. Las propiedades de consistencia, independencia de las primitivas e independencia de los axiomas son sintácticas, y lo mismo son las definiciones de los correspondientes conceptos. Pero la *identificación* de esas propiedades, o sea, sus criterios de contrastación, son semánticos, porque dependen del concepto de modelo (o de satisfacción, o de verdad). ¿Hace esto a la sintaxis dependiente de la semántica?

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, I. G., y R. R. McLone (eds.), *Mathematical Modelling*, Londres, Butterworths, 1976.
- Aris, R., *Mathematical Modelling Techniques*, Londres, Pitman, 1978.
- Beth, E. W., *Formal Methods*, Dordrecht, D. Reidel, 1962.
- , *The Foundations of Mathematics*, Amsterdam, North-Holland, 1959.
- Braithwaite, R. B., *Scientific Explanation*, Cambridge, University Press, 1953, caps. I y II, traducción esp., *La Explicación Científica*, Madrid, 1965.
- Bunge, M., *Method Model and Matter*, Dordrecht, Reidel, 1973.
- , *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.
- , *Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1967.
- Carnap, R., *Foundations of Logic and Mathematics*, Chicago, University of Chicago Press, 1939.
- , *Introduction to Symbolic Logic and Its Applications*, Nueva York, Dover, 1958, parte dos.
- Copi, I., *Symbolic Logic*, Nueva York, MacMillan, 1954, cap. 6.
- Curry, H. B., *Foundations of Mathematical Logic*, Nueva York, McGraw-Hill, 1963, cap. 2.
- Freudenthal, H. (ed.), *The Concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural and Social Sciences*, Dordrecht, Reidel, 1961.
- Henkin, L., P. Suppes y A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Amsterdam, Northholland, 1959.
- Lewis, C. I., y C. H. Langford, *Symbolic Logic*, 2a. ed., Nueva York, Dover, 1959, caps. XI y XII.
- McKinsey, J. C. C., "On the Independence of Undefined Ideas", *Bulletin of the American Mathematical Society*, 41, 291, 1935.
- Nagel, E., P. Suppes y A. Tarski (comps.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Stanford, Stanford University Press, 1962.
- , *The Structure of Science*, Nueva York y Burlingame, Harcourt, Brace and World, 1961, cap. 5.
- Padoa, A., "Essai d'une théorie algébrique des nombres entiers, précédé d'une introduction logique à une théorie déductive quelconque", secs. 8-18, *Bibliothèque du Congrès International de Philosophie*, 3, 309, 1900.
- Rosenbloom, P., *The Elements of Mathematical Logic*, Nueva York, Dover, 1950, cap. 11, sec. 3.
- Suppe, F. (ed.), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1974.
- Suppes, P., *Introduction to Logic*, Princeton, Van Nostrand, 1957, cap. 12.
- Tarski, A., *Logic, Semantics, Metamathematics*, Oxford, Clarendon Press, 1956.

8. TEORÍA: DINÁMICA

Como el objetivo de la teorización es la construcción de teorías maduras y verosímiles, y como lo que distingue una teoría de otros fragmentos de conocimiento científico con ciertas propiedades lógicas, como la deducibilidad y la unidad conceptual, teníamos que investigar la lógica de las teorías antes de poder echar un vistazo al proceso efectivo de la construcción de las teorías y al modo como las teorías dan razón de sus referentes. La dicotomía forma-contenido que hemos adoptado es metodológicamente conveniente, pero psicológica e históricamente es artificial, porque en la ciencia factual uno concibe desde el primer momento teorías interpretadas, utilizando para ello los instrumentos conceptuales que parecen más adecuados para la representación de cuestiones de hecho; teorías abstractas, o modelos puramente conceptuales de las mismas, no se presentan —si es que llegan a hacerlo— más que en la reconstrucción lógica (formalización) de teorías factuales ya existentes, y, desde luego, en la ciencia formal. No menos artificial es partir de la consideración de teorías ya listas, como hemos hecho, en vez de partir de embriones teóricos: si deseamos saber cómo se hace la ciencia, no podemos limitarnos a los manuales de filosofía de la ciencia, pero tampoco podemos ignorar el producto terminado, puesto que éste es el objetivo de la investigación teórica. Corrijamos entonces la imagen estática que da de sí el planteamiento puramente lógico, echando ahora un vistazo a la construcción de las teorías y a su relación con el mundo. La relación de la teoría con la experiencia científica nos ocupará con mayor detalle en la parte iv.

8.1. CONSTRUCCIÓN DE TEORÍAS

Las teorías pueden construirse, remodelarse, reconstruirse lógicamente, aplicarse, destruirse y olvidarse. La construcción de una teoría científica es siempre la edificación de un sistema más o menos afinado y consistente de enunciados que unifica, amplía y profundiza ideas, las cuales, en el estadio preteorético, habían sido más o menos intuitivas, imprecisas, esquemáticas e inconexas. En los comienzos de la ciencia ese estadio preteorético es simplemente el conocimiento ordinario; en disciplinas ya establecidas un estadio preteorético no puede presentarse sino en campos particulares; siempre hay alguna teoría más o menos afín que es una ayuda en la construcción, ya prestando materiales, ya sugiriendo planteamientos. En cualquier caso, la construcción de teorías no procede en el vacío, sino en una matriz preexistente. Cuando la matriz es pobre, los primeros esfuerzos de teorización pueden ser muy difíciles; tal es el caso de los campos caracterizados por una ciega acumulación de información, con su compañera inevitable, la confusión conceptual.

Los elementos conceptuales utilizados en la construcción de una teoría no dependen

sólo del sistema de problemas que debe resolver la teoría, sino también del conocimiento y de las técnicas disponibles. Por esta razón diferentes investigadores basándose en consideraciones muy diferentes pueden llegar independientemente a la misma teoría. Además de esa propiedad social tenemos que recoger el trasfondo peculiar del teórico, sus tendencias, sus fobias, su estilo mental: de no hacerlo así nos será imposible explicar el fenómeno complementario del anterior, a saber, las teorías diferentes que a menudo se proponen para resolver un mismo sistema de problemas.

No hay técnicas normadas y listas para la construcción de teorías: el teórico puede usar cualesquiera medios conceptuales, siempre que los claramente erróneos no se presenten en el producto final o puedan al menos eliminarse de él. Los medios que se utilizan en la construcción de las teorías, pero que no aparecen en su presentación final, se llaman ideas *heurísticas*. La hipótesis del calórico fue una ayuda heurística en la construcción de la termodinámica, y lo mismo ocurrió con la idea del homúnculo en la primitiva genética. Además de las hipótesis y las teorías desempeñan frecuentemente un papel heurístico los experimentos mentales, o sea, experimentos que se planean pero no se ponen en práctica. (Es curioso que a veces se cree que los experimentos mentales *prueban* teorías, cuando ni siquiera los experimentos reales pueden hacer tanto.)

Por último, en la formación de una teoría pueden desempeñar también algún papel ciertos ejemplos particularmente sugestivos (casos heurísticos, que no son meras ilustraciones).

En cualquier caso, la construcción de teorías no suele hacerse de un modo clara y lógicamente consciente; por eso su resultado es lo que puede llamarse una teoría *natural*, un borrador poco denso que puede ser ulteriormente organizado y clarificado —o destruido— por ulteriores desarrollos, aplicaciones y discusiones.

En ese estadio de borrador, el principal requisito puesto por el teórico es que la teoría cubra de un modo unitario una buena porción del campo considerado, o sea, el conjunto de los datos y las generalizaciones de bajo nivel de que se dispone y que hasta el momento estaban sin conectar o sólo laxamente conectadas. El dar razón de ese material disponible, el sistematizarlo, será la “condición mínima”, y el objetivo último del teórico puede ser la tarea, más ambiciosa, de dar razón también de hechos y generalizaciones desconocidas hasta el momento. Hablando metafóricamente una teoría científica es como un molusco que tiene un núcleo blando —el conjunto de las hipótesis de alto nivel— rodeado por una concha algo más dura, pero porosa, el conjunto de las generalizaciones de nivel bajo, o empíricas (cf. fig. 8.1). Por los poros de la parte periférica penetra información acerca del mundo externo, la cual permite al núcleo central producir nuevos resultados particulares (predicciones y retrodicciones) que se proyectan hacia el mundo externo. Algunas veces esas excreciones son más valiosas que el alimento introducido.

En los primeros estadios de la construcción de teorías el científico no puede ocuparse mucho de condiciones lógicas, con la única excepción de (i) la consistencia semántica (homogeneidad y conexión de los conceptos básicos) y (ii) la consistencia formal, reconocida de un modo natural o intuitivo. (Por lo que hace a la consistencia semántica, cf. sec. 7.2; sobre la consistencia formal, sec. 7.5.) La teoría puede en algún momento someterse a una reconstrucción lógica, o formalización, o sea, puede reconstruirse de tal modo que sus presupuestos, primitivas, axiomas y reglas queden todos formulados tan plena y

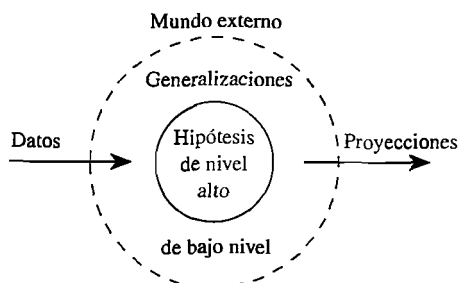
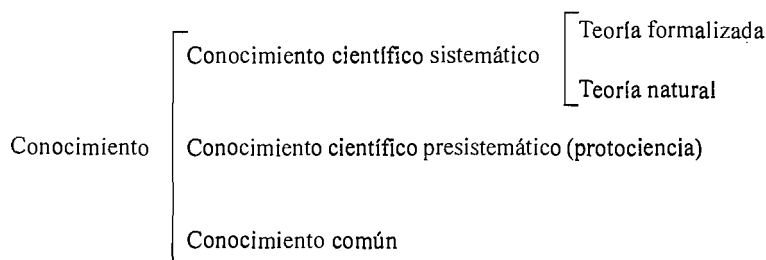


FIGURA 8.1. La teoría científica como un organismo que se alimenta de datos referentes al mundo externo, sobre el cual proyecta nueva información (predicciones y retrodicciones).

claramente como resulte posible en un momento dado. Este proceso de afinación de la teoría no llega a iniciarse siquiera la mayoría de las veces; la mayor parte de los científicos se interesan por el hallazgo de nuevas consecuencias (teoremas) o por su contrastación con datos, y atienden menos al deseo de una clara organización lógica: esta última tarea suele caer en manos de autores de tratados elementales, los cuales pocas veces dominan los instrumentos lógicos y filosóficos necesarios, y muy frecuentemente consideran las teorías aceptadas durante la década anterior como resultados finales, y no como objetos de la investigación.

Si llega a emprenderse el proceso de afinamiento de la teoría —como ha ocurrido con la mecánica clásica—, es posible que no se complete nunca, aunque no sea más que (i) porque la formalización de la teoría requiere técnicas lógicas y metacientíficas que aún tienen que inventarse o perfeccionarse, y (ii) porque la interpretación y comprensión de cualquier teoría dada está en gran medida condicionada por el estado de las teorías adyacentes que, al cambiar ellas mismas, alteran aquella interpretación. En cualquier caso, hay toda una escala de estadios entre el primitivo o natural y el de una reconstrucción lógica cuidadosa (aunque no final). Por lo que hace a la organización lógica, debemos reconocer grados dentro de la siguiente división esquemática:



Cualquiera que sea el estadio de formalización que haya alcanzado, una teoría puede remodelarse o reajustarse en un intento de mejorar su adaptación a los hechos. Si el intento fracasa, la teoría puede demolerse ya en el proceso de crítica, ya en el curso del nuevo intento de reducirla a conjuntos de fórmulas de nivel inferior que, por estar más cerca de

la experiencia, satisfarán la inmadura necesidad de certeza. La construcción de teorías es en este sentido un proceso más o menos espontáneo; en cambio, la formalización, la crítica y la destrucción de teorías suponen el uso explícito de principios y técnicas lógicos y metodológicos bien determinados, por no hablar ya de los puntos de vista filosóficos. Consideraremos algunos de ellos al final de esta sección y en la sección 8.3.

Las teorías naturales no formalizadas pueden construirse de varios modos, cada uno de los cuales da una clase de teoría y ninguno de los cuales está tan regulado por reglas como para constituir un método en sentido propio. En uno de los extremos de esa gama de planteamientos y teorías encontramos la mera organización de las generalizaciones empíricas existentes, formuladas verbalmente, con la vaguedad, la ambigüedad y la difuminación características del lenguaje ordinario. La mayor parte de las teorías de las ciencias del comportamiento siguen siendo de esa nebulosa clase, aunque se está produciendo un vigoroso movimiento de limpieza lógica y matematización. En el otro extremo encontramos teorías basadas en hipótesis no empíricas, fuertes y de alto nivel, formuladas matemáticamente y que se benefician por ello de la limpieza y el poder deductivo característicos de la matemática (cf. sec. 8.2). La mayoría de las teorías físicas y un número creciente de teorías biológicas y del comportamiento pertenecen a esta clase.

Entre las teorías verbales y los “modelos” matemáticos hay un amplio campo de grados intermedios de formalización. Las teorías verbales contienen a menudo *conceptos* matemáticos, como los de inclusión de conjuntos, árbol, variable numérica, razón y proporcionalidad; pero, por la definición de “teoría verbal”, esos sistemas no contienen en cambio *relaciones* matemáticamente formuladas entre tales conceptos. Consiguientemente, sus formulaciones (por ejemplo, sus enunciados legaliformes) serán más bien laxos, difíciles de criticar, de manejar y de contrastar. (La presencia de conceptos *cuantitativos* en una teoría no es necesaria ni suficiente para que sea matemática, por no hablar ya de científica. Una teoría con conceptos no cuantitativos, como los de conjunto y relación ordenadora, puede ser matemática (cf. sec. 7.3); y, por otro lado, una teoría con conceptos cuantitativos como “coste” y “precio”, puede seguir siendo verbal si no enlaza matemáticamente esos conceptos, mediante funciones y ecuaciones.) En las ciencias del comportamiento se manejan unos cuantos conceptos cuantitativos (por ejemplo, “número de cumplimientos”) y pseudo cuantitativos (por ejemplo, “energía psíquica”), pero no se han sugerido ni corroborado sino pocas relaciones matemáticas entre ellos. Cuando algunos de los supuestos iniciales de una teoría se formulan en forma matemática podemos decir que es una teoría semimatemática; ejemplo de esta clase de teorías es la economía clásica.

Consideremos las siguientes hipótesis no cuantitativas que contienen conceptos cuantitativos: “Cuanto mayor es la densidad de población, tanto más numerosos son los contactos sociales (o mayor es la frecuencia del contacto social)”. Se obtiene una familia infinita de matematizaciones posibles de esa hipótesis introduciendo una función sin especificar, monótona y creciente, f , que relacione el número c de los contactos interpersonales (en un periodo de tiempo) con la densidad de población d : $c = f(d)$. Pero mientras no se especifique la forma precisa de la función f , la anterior relación no será más que un *esquema nebuloso*; hablando metodológicamente, es una hipótesis programática que invita a investigar un determinado problema: el de averiguar la forma precisa de la relación f (cf. fig. 8.2). En las ciencias del comportamiento siguen entendiéndose como

teorías numerosos *esquemas programáticos*, o sea, esquemas teóricos que contienen supuestos indeterminados de ese tipo, o aún menos precisos (como “ c depende de d ”). Sin duda hay que construir esquemas programáticos en todo estadio preliminar de exploración, e incluso después, cuando se intenta unificar conjuntos de teorías. Pero esos esquemas no agotan la construcción de teorías, ya por el hecho de que contienen enunciados escasamente significativos y, por tanto, escasamente contrastables. Sólo pueden contrastarse relaciones plenamente significativas (cf. sec. 5.6).

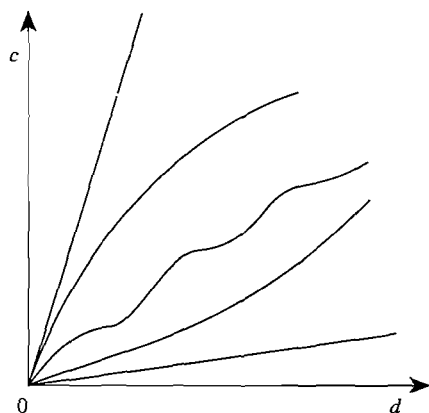


FIGURA 8.2. Algunas de las infinitas relaciones que satisfacen el esquema “Cuanto mayor es la densidad de población, tanto más numerosos son los contactos sociales”. Se ha supuesto la continuidad para simplificar el esquema.

Admitiendo que una teoría plenamente significativa y contrastable no contendrá más que relaciones precisas, no elusivas, entre los conceptos, ¿qué tipo de conceptos debe contener? Es claro que debe contener *conceptos teóricos*, o sea, conceptos introducidos por la teoría o, al menos, muy afinados por ella, sujetos a la condición obvia de vaguedad intensional y extensional mínimas (cf. sec. 3.7). Algunos conceptos teóricos preexisten a la teoría en una forma ruda o intuitiva, y no se afinan sino gracias a la teorización: tal es el caso de “distancia” y “herencia”, por ejemplo. Si no fuera por esos vínculos con el conocimiento ordinario no podría empezar nunca la teorización; aún más: a veces se construye o reconstruye una teoría precisamente para aclarar ante todo ciertos conceptos. Pero otros conceptos, como “tensión superficial”, “enzimas” o “intensidad del hábito” nacen con las teorías mismas: tienen vínculos muy débiles —si es que tienen alguno— con el conocimiento ordinario. Y los que no tienen antecedentes en el conocimiento ordinario, como “campo de fuerza”, “gene” y “teoría”, caracterizan las teorías más originales, profundas y féculas. Cosa parecida ocurre con las hipótesis: en las teorías poco desarrolladas los supuestos iniciales no son mucho más que afinaciones y extensiones de generalizaciones empíricas. En cambio, las teorías maduras se caracterizan por la presencia de hipótesis no-observacionales (cf. sec. 5.4); y las más maduras se caracterizan por hipótesis representacionales que, como se verá en la sección 8.5, van más allá de las relaciones factor-producto (*input-output*).

A veces las hipótesis de las teorías científicas que necesariamente contienen conceptos teóricos se consideran con reticencia por pensar que, al apartarse de la experiencia, no pueden ser sino, a lo sumo, extrapolaciones sumamente inciertas, y en el peor de los casos cuentos de hadas. Según este punto de vista hay una sola y sencilla regla para la

construcción de teorías, a saber: partir de experiencias elementales, o sea, de datos individuales, generalizándolos con precaución (inducción). La entera historia de la ciencia ha sido injustificadamente contrahecha bajo la influencia de esta inmadura filosofía de la protociencia, de tal modo que la observación sustituía al razonamiento, la inducción a la invención y la paciencia al talento; y los problemas, que son la chispa que pone en movimiento el experimento y la teorización, no tenían ni lugar ni homólogo en ese cuadro. En él cada gran revolución de las ideas, como la teoría de la evolución o la de los quanta, tenía por fuerza que presentarse como un trauma, puesto que esas nuevas ideas no se habían “inducido” evidentemente de la observación; por eso también cada nueva idea grande se rechazaba en nombre de la metodología, o bien se adulteraba para adecuarla a las ideas preconcebidas, al esquema preconcebido (y, por lo tanto, no empírico). Esta historia de la ciencia que elimina las ideas, que no se interesa por los problemas ni por las hipótesis —por el núcleo de la investigación científica—, está siendo lentamente sustituida por una explicación más verdadera basada en una filosofía post-baconiana de la ciencia. Pero no nos hace falta apelar a la nueva historia de la ciencia, que está aún en su mayor parte por escribir, para refutar el punto de vista según el cual la teoría científica es la sistematización de los datos: basta para ello con un análisis del proceso de construcción de las teorías.

Hay varias razones por las cuales una teoría no puede ser un sumario de datos, y aún menos, naturalmente, una síntesis de experiencias elementales (atómicas). Una razón es de orden puramente lógico; por definición, una teoría es un conjunto de fórmulas parcialmente ordenado por la relación de deducibilidad; y esa relación no vale nunca entre enunciados particulares referentes cada uno a un hecho distinto: las cadenas de deducción no pueden establecerse más que entre fórmulas que se encuentren a diferentes niveles de potencial, por así decirlo: para deducir fórmulas acerca de la experiencia, tenemos que empezar por levantarnos por encima de la experiencia y construir un sistema trasempírico multinivel (cf. sec. 7.3). Otra razón es que *no hay* elementos aislables, autocontenidos y simples de orden experiencial (átomos empíricos). En efecto: el objeto de la experiencia es siempre un todo y, como tal, inútil para la ciencia: la experiencia científicamente relevante no es experiencia pura —por ejemplo, la experiencia sin contaminar que pudieron tener nuestros antepasados biológicos hace un millón de años—, sino experiencia conceptualizada o interpretada: una experiencia mezclada con anticipaciones e ideas, y arraigada en un trasfondo conceptual. El análisis, que es una operación conceptual, nos permite descomponer el todo experiencial dado en un sistema de unidades más o menos distinguibles, y nos posibilita así el descubrimiento de sus interrelaciones. Pero el análisis de la experiencia no se detiene con la descomposición de los todos experienciales en unidades de experiencia, o perceptos; la elaboración conceptual de la experiencia lleva siempre a alguna idea: a un problema, una conjetura, todo un haz de hipótesis. Si seguimos elaborando la idea inicial con los instrumentos tomados de nuestro trasfondo conceptual, aquella idea puede desarrollarse en un sistema de hipótesis interrelacionadas, pero claramente distinguibles, que constituye una teoría. Otra razón es que en la elaboración de la experiencia y en la invención de ideas se *descarta* la mayoría de los detalles particulares y el resto se *desfigura*, en vez de reunirlo y condensarlo cuidadosamente. Los perceptos, que ya son en realidad productos de un análisis, y no experiencias en bruto, se descartan en su mayor parte en el proceso de selección de los elementos relevantes. Y los que no se descartan se transforman en ideas, las cuales, por

su parte, son todo lo que se quiera, menos fieles reproducciones de lo sensible dado. A posteriori discriminamos y seleccionamos las ideas hasta darnos cuenta de que algunas de sus unidades componentes (conceptos) no tienen contrapartida experiencial, razón por la cual tienen una posibilidad de participar en la explicación de la experiencia.

En suma: una teoría es una creación original, no una disposición de elementos cuidadosamente anclados en la experiencia (por ejemplo, operativamente "definidos"). Los datos particulares no son materiales de construcción de la teoría sino simplemente —una vez cribados— ocasión de la actividad teorizadora y contrastación de las teorías: los datos particulares plantean problemas y constituyen otras tantas condiciones que la teoría tiene que satisfacer en alguna medida. Si la teoría es verdadera, se encontrarán los datos particulares como consecuencias de los supuestos generales de la teoría, en conjunción con otros datos particulares. El caso singular tiene unas cuantas funciones; planteará un problema, sugerirá tal vez una conjetura, puede a veces refutarla, e ilustrará una teoría: pero no puede producirla.

El camino no va de los datos a la teoría, sino de los datos al problema, del problema a la hipótesis, y de la hipótesis a la teoría; y luego a la inversa, de la teoría y la evidencia a una proyección que podrá someterse a contrastación con la ayuda de otro elemento de evidencia y la de otras teorías (cf. fig. 8.3). Ésta es una imagen de la construcción de teo-

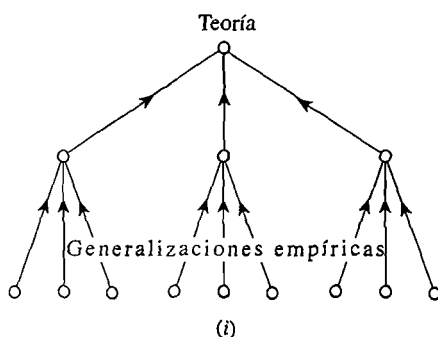
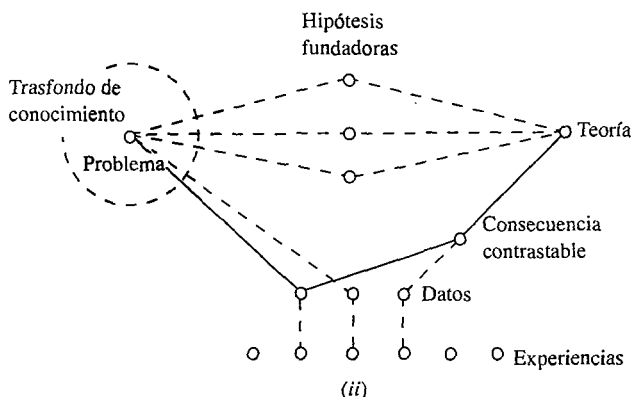


FIGURA 8.3. (i) La concepción ingenua de la construcción de teorías: la experiencia como fuente de la teoría. (ii) Una concepción más realista (aunque aún simplificada): la teoría provocada y contrastada por datos que arraigan en la experiencia.



rías compatible con la lógica: como de un mero conjunto de enunciados de evidencia singular no puede inferirse válidamente nada (cf. sec. 7.3), hay que crear algo que vaya más allá de la experiencia si es que queremos explicar ésta. Los datos deben encontrarse en los dos extremos del proceso: al principio y al final, como disparadores y contrastadores del teorizar pero nunca como ladrillos de las teorías.

El punto de partida de una teoría es generalmente el problema de sintetizar y explicar un conjunto de generalizaciones más o menos inconexas, empíricas o no, que pueden llamarse las *hipótesis del descubrimiento* de la teoría. La unificación de un conjunto de hipótesis tales requiere (i) su *afinamiento* —o sea, su formulación con términos teóricos más especializados que permitan mayor precisión—, o (ii) la introducción de hipótesis radicalmente *nuevas* y más fuertes que establezcan vínculos lógicos entre aquellas hipótesis y permitan su deducción. La invención newtoniana de la mecánica racional requirió las dos operaciones. Las hipótesis de descubrimiento que eligió eran un conjunto de leyes inconexas del movimiento, principalmente las leyes galileanas de caída libre de los graves y de la balística, las leyes keplerianas del movimiento de los planetas y la ley de las pequeñas oscilaciones, de Huygens. Newton no se limitó a *generalizar* esas leyes por inducción, como querría el modelo ascensional de la construcción de teorías; no llevó a cabo ninguna generalización inductiva que recogiera como casos individuales las hipótesis de descubrimiento, y ello ya por la simple razón de que *no existen* leyes cinemáticas de orden superior bajo las cuales subsumir las leyes cinemáticas de Galileo, Kepler y Huygens. Para sintetizarlas y derivarlas Newton inventó una teoría dinámica: introdujo un sistema de hipótesis enteramente nuevas que no describen trayectorias observables de partículas, como hacían las leyes cinemáticas, sino que refieren a fuerzas y masas no perceptibles y a sus manifestaciones cinemáticas (aceleraciones). Las leyes cinemáticas —las viejas igual que cualesquiera nuevas— se deducían de las leyes dinámicas con la ayuda de un nuevo cálculo, porque la técnica de deducción de que disponía era demasiado débil. De un modo parecido, N. Rashevsky ha intentado en nuestros días derivar las leyes integrales del comportamiento humano partiendo de las leyes diferenciales de los mecanismos nerviosos que transmiten y elaboran los estímulos observables. Puede discutirse la medida en la cual ha alcanzado ese objetivo, pero esto no tiene nada que ver con el valor del programa.

En el proceso de teorización pueden sufrir alteraciones las hipótesis del descubridor. En el caso de la mecánica, resultó que eran en su mayor parte sólo soluciones aproximadas a las leyes “exactas” (tampoco completamente verdaderas, como sabemos hoy) de nivel más alto. La teoría no sólo puede fundir y explicar las primeras hipótesis sueltas, sino que puede también corregirlas, y, al hacerlo, puede mejorar la descripción de la experiencia. Dicho brevemente: la teoría, asimila, enriquece y corrige la experiencia. Y puede hacerlo porque introduce conceptos trasempíricos recién producidos. Los conceptos inexactos del conocimiento común, por útiles que sean para la descripción precientífica de la experiencia ordinaria, son insuficientes para enmarcar las elevadas hipótesis de la ciencia, no sólo por demasiado vagos, sino también porque corresponden a rasgos superficiales de la realidad. Lo que las cosas son realmente no puede percibirse, sino formularse sólo hipotéticamente: tenemos que imaginar modelos más o menos idealizados hechos con construcciones teóricas, para luego contrastarlos.

Tomemos, por ejemplo, la teoría de las decisiones —o, más exactamente, la parte de la misma llamada *teoría bernoulliana de la utilidad*— cuyo objetivo es dar razón de la elección y racionalizarla. El único *concepto observacional* de esta teoría es el de alternativa simple; puede dilucidarse entendiéndolo como un par ordenado $\langle x, y \rangle$ —que es un concepto teórico de nivel bajo— e interpretarse como un par de resultados recíprocamente excluyentes de una acción (un juego, por ejemplo). La teoría introduce dos relaciones *directamente inferibles* (pero, estrictamente hablando, inobservables): preferencia e indiferencia. (Partiendo de actos de elección junto con el supuesto de preferencia constante, inferimos estimaciones de preferencia: si un sujeto elige de hecho x en vez de y , inferimos que prefiere x a y , etcétera. Un planteamiento puramente conductista tendría que prescindir de esos inobservables. La actitud científica consiste en aceptarlos y someterlos a la custodia de una teoría contrastable, o sea: vincularlos con indicadores objetivos más o menos fiables.) Por último, las *construcciones*, o conceptos teóricos más altos, de la teoría son: la función de utilidad, $u(x)$, que mide la intensidad de las preferencias del sujeto por el resultado x , y la probabilidad, p , de ese resultado x . (Esta probabilidad será objetiva en algunas teorías y subjetiva en otras.) Pueden considerarse axiomas de la teoría los dos siguientes (aunque, desde luego, son posibles otras elecciones de axiomas):

U1. Para todo par $\langle x, y \rangle$ de alternativas, el sujeto prefiere x a y , o es indiferente entre x e y , si y sólo si $u(x) \geq u(y)$. Tomando sólo el signo de desigualdad, esto puede tomarse por una definición de “preferencia”, que es un inobservable, por “utilidad”, que es otro inobservable.

U2. Para todo par $\langle x, y \rangle$ de alternativas y para todo valor de la probabilidad p del resultado x , la utilidad de la alternativa $\langle x, y \rangle$ es igual a la media estimada de las utilidades individuales, o sea, a $p \cdot u(x) + (1-p) \cdot u(y)$. [Obsérvese que $1-p$ es la probabilidad del resultado no- x , o sea, de y .]

Esos axiomas relacionan entonces las seis primitivas específicas de la teoría, las cuales pueden disponerse así en orden de complejidad epistemológica:

Construcciones

(conceptos teóricos
del nivel más alto)

Función de utilidad u del organismo considerado.
Probabilidad $P(x) = p$ del resultado x .

Conceptos teóricos de nivel intermedio

Preferencia, $>$
Indiferencia, $=$

Conceptos teóricos de nivel bajo

Par alternativo, $\langle x, y \rangle$
Resultado, $x, y, \dots$

Los conceptos de resultado y de par alternativo se han incluido entre los conceptos teóricos porque, aunque no han sido introducidos por la teoría de las decisiones, ésta los ha dilucidado sin duda alguna. Hablando rigurosamente, ninguna teoría contiene más que conceptos teóricos.

El anterior ejemplo presenta claramente tres rasgos destacados y emparentados de la teorización: la *simplificación*, la *invención* y la *generalización*. La simplificación afecta

ante todo al material empírico, y tiene como resultado la selección de unas cuantas variables que, por alguna razón, se suponen las esenciales, así como la selección de unas pocas relaciones-clave entre ellas. Cuantas menos variables manejemos, tanto más finas o complejas serán las relaciones entre ellas que tendremos que admitir. A la inversa, cuanto mayor sea el número de variables, tanto más esquemáticos –y, por tanto, menos exactos tendrán que ser los supuestos sobre sus interrelaciones. Ésta es una de las razones por las cuales las teorías tecnológicas no pueden contener relaciones tan complejas como las de las teorías científicas subyacentes; precisamente porque, por tener que tratar con modelos más realistas de las cosas, se ven obligadas a incluir un mayor número de variables. En cualquier caso, cuando simplificamos la información empírica dada *descartamos particulares* en vez de intentar sistematizarlos todos.

Pero si no hiciéramos más que eliminar o uniformar detalles, nos limitaríamos a simplificar la descripción inicial, sin construir propiamente nada. Las variables-clave y las relaciones-clave entre ellas no son nunca dadas, ni nacen de la mera simplificación; tienen que introducirse como cosa nueva o, al menos, como producto de un refinado. Además: muchas de ellas no quedan en absoluto sugeridas por el conocimiento empírico disponible: se *inventan*, como se inventan todas las construcciones. (La invención es compatible con la simplificación si las dos afectan a objetos diferentes: el material empírico se simplifica gracias al enriquecimiento del cuerpo del conocimiento mediante la invención de construcciones.) La invención y el trabajo de conjetura culminan en un modelo del sistema en estudio. Este modelo, y no el correlato real en que se piensa (que puede resultar irreal), es el objeto propio de la teoría. Como el modelo supone una simplificación sustancial y deliberada del conocimiento empírico, así como construcciones originales que no se hallan en la experiencia, no puede esperarse que sea perfecto. Esto es: ya *a priori* deberíamos saber, por un análisis del mero proceso de la construcción de teorías, que toda teoría factual es en el mejor de los casos aproximadamente verdadera, porque supone demasiadas simplificaciones y algunas invenciones que tienen que ser por fuerza inadecuadas en alguna medida, pues no pueden controlarse plenamente ni por la experiencia ni por la lógica.

A causa de la eliminación de los particulares –o sea, la concentración sobre lo esencial– y la introducción de ricos conceptos trasempíricos, la teoría puede ser mucho más general que cualquier conjunto de descripciones particulares y generalizaciones empíricas que haya provocado su construcción. Así, por ejemplo, una sola teoría de las ondas electromagnéticas, que tiene como centro el modelo de la onda electromagnética –caracterizado a su vez por sólo tres variables: amplitud, longitud de onda y fase–, cubre todo el espectro desde los rayos infrarrojos hasta los rayos gamma, y unifica así campos de investigación que estaban separados hasta la introducción de la teoría, esto es, mientras aquellas áreas de la investigación se mantuvieron demasiado cerca de la experiencia. Una simplificación de lo dado –o, por mejor decir, de lo buscado– junto con la invención de construcciones, es *necesaria* para construir cualquier teoría más fuerte que el conjunto de sus hipótesis de descubrimiento. ¿Es posible estipular un conjunto de reglas *suficientes* para la construcción de teorías? Algunos filósofos lo han intentado a partir del Renacimiento, pero ninguno lo ha conseguido, aunque se han escrito libros acerca de la nonnata lógica del descubrimiento científico y de la técnica, no menos por nacer, de la construc-

ción de teorías. ¿Es casual ese fracaso? ¿Podemos esperar que en el futuro se construirá una teoría de la construcción de teorías, y hasta que se formulará esa teoría de tal modo que podamos programar calculadoras que, mediante una aplicación mecánica de esas reglas áureas, segreguen teorías científicas? No, no existe esa esperanza, aunque se esté escribiendo tanto sobre la inminencia de una tal revolución.

La razón de esto es que la invención, el núcleo de la construcción de teorías, no es un procedimiento mecanizable. La invención es sin duda un tema de estudio, aunque muy descuidado, en parte porque ni siquiera se supone que los científicos inventen, sino que se cree que se limitan a contemplar muchos hechos mundos y a observar cuidadosamente lo que perciben. Además, la invención científica no es libre invención de naturaleza poética, sino que está sujeta a restricciones lógicas, metodológicas y hasta filosóficas: está controlada por reglas, no movida por reglas. Dicho brevemente: la construcción de las teorías científicas no es una actividad *dirigida* por reglas, pero sí *controlada* por reglas. El estudio de la invención científica, tema por sí mismo interesante, nos promete un conjunto de reglas necesarias y suficientes para la invención de nuevas teorías. Y esto por las siguientes razones.

En primer lugar, si se tiene una inteligencia original, no se necesitan reglas para la construcción de teorías; y si uno se siente perdido sin tales reglas, entonces es que no se posee un cerebro suficiente para producir trabajo original. En segundo lugar, la mera idea de un conjunto de prescripciones para conseguir la originalidad es auto-contradictoria: si uno *inventa* una idea genuinamente nueva, es precisamente porque la idea ha nacido sin la ayuda de ninguna regla: no se ha inferido de ideas preexistentes según alguna receta —aunque sin duda la idea no habrá nacido en un vacío intelectual, y estará muy probablemente “sometida” a algún conjunto de leyes psicológicas desconocidas por el momento. En tercer lugar, la propuesta de inventar un conjunto de reglas para la invención de teorías da lugar a una regresión infinita: en efecto, ¿qué decir entonces de las reglas mismas? Si establecemos que tiene que haber reglas de la producción de esas reglas, terminamos en un callejón sin salida, y, para evitarlo, tenemos que admitir que en un punto u otro interviene la originalidad.

En resolución: no tenemos técnicas de la construcción de teorías y, si el anterior razonamiento es concluyente, no las tendremos nunca. Por esta razón, aunque tenemos teorías de los automatismos, no poseemos ningún plano de autómatas teorizadores. Lo único que podemos saber de la construcción de teorías es que no se consigue manipulando datos, con o sin la ayuda de calculadoras, sino *inventando una esquematización ideal* del objeto de la teoría y *complicándola gradualmente luego*, o sea, introduciendo luego más conceptos teóricos y relaciones más complejas entre ellos, como lo exija y permita nuestra imaginación. Pero esta receta es tan débil como la que aconsejara “Tenga usted una imaginación potente y sométala al control de la razón y la experiencia.”

Hay sin duda unos cuantos consejos más o menos definidos, así como los correspondientes desiderata, que pueden darse para ayudar en la construcción de teorías. Entre los primeros pueden citarse los siguientes: “No empezar a teorizar hasta tener un haz de problemas claramente planteados y un manojo de generalizaciones empíricas sobre el campo elegido”, “No posponer la teorización hasta el momento en el cual la muchedumbre de datos sin digerir —muchos de ellos posiblemente irrelevantes— confunda demasiado”,

“No elegir como unidades básicas (primitivas) conceptos demasiado bajos u observacionales, sino conceptos trasempíricos fuertes”, “Rehuir la inescrutabilidad”, “Mantener una razonable compatibilidad con teorías bien corroboradas”, “No elegir supuestos deductivamente estériles (fórmulas vagas y/o singulares), sino las más fuertes compatibles con los hechos”, “No elegir como postulados proposiciones disyuntivas ni modales: hay que comprometerse”, etc. Pero todas esas recomendaciones son negativas: se oponen a procedimientos que no prometen nada, pero no indican cuáles son los prometedores. Además de esas órdenes negativas podemos pensar en un conjunto de desiderata, como la consistencia interna, la predecibilidad máxima, la profundidad explicativa (cf. sec. 15.7). Pero ni el consejo negativo ni los desiderata positivos constituyen reglas de la construcción efectiva de teorías científicas, por efectivos que puedan ser unos y otros en la *estimación* de los programas teóricos o de las teorías terminadas. Las recomendaciones y los desiderata serán de mucha ayuda, pero no pueden dar de sí la concepción de una nueva teoría; para esto se requieren los órganos adecuados y no reglas que, por lo demás, son lógicamente imposibles.

Si alguien arguye que ha producido efectivamente una teoría científica con la sola ayuda de los datos y un conjunto de reglas de descubrimiento y/o invención, tendremos que concluir o bien que no sabe exactamente qué quiere decir ‘teoría’, o bien que se ha engañado a sí mismo. Esta conclusión negativa sobre la “lógica de la investigación científica” y la “técnica de la construcción de teorías” no debe desanimar, sino, por el contrario, animar a investigar la mecánica *real* de la concepción científica y los desiderata o ideales que deben satisfacer las teorías científicas, así como las razones por las cuales tales construcciones deben satisfacer tales o cuales condiciones en vez de otras. Un tal estudio requiere un planteamiento interdisciplinario: exige la cooperación de lógicos, filósofos, psicólogos, sociólogos e historiadores de la ciencia, en trato con teorías científicas reales. Los resultados de esa investigación pueden ayudar a los científicos a entender lo que están haciendo, y pueden por tanto ayudarles a mejorar su propio trabajo o, al menos, a evitar estrategias estériles. Pero no hay una técnica para inventar construcciones científicas, igual que no la hay para dar a luz genios.

En cambio, sí que hay dos técnicas claras para liquidar una teoría: una para eliminar sus raíces experienciales y otra para demolerla de una vez. Para minar el apoyo experiencial que tiene una teoría basta con eliminar todos los conceptos teoréticos de nivel bajo (como “trayectoria”) dejando sólo los de nivel alto (como “masa”): de este modo la teoría deja de ser susceptible de contrastación. Piénsese en una teoría psicológica sin conceptos conductivistas ni fisiológicos y que juegue el juego incontrolable del “alma”, la “consciencia”, el “complejo”, la “motivación” y la “represión”: una tal doctrina es pura especulación. Generalmente, las teorías especulativas no tienen una motivación empírica desde el principio: una tal “base” se evita simplemente o se busca a posteriori, en forma de ilustraciones o casos favorables. Por tanto, es posible que no se haya aplicado nunca esa operación de minado de la teoría; sin embargo, esa operación es concebible como truco para salvar a alguna teoría de refutación empírica.

La demolición de teorías ha sido en cambio seriamente propuesta por empiristas, convencionalistas, pragmatistas y otros filósofos sostenedores de las tesis de que (i) la experiencia ordinaria es más segura que la teoría científica y, por tanto, preferible a ella,

y (ii) el único objetivo de la teorización debería ser la producción de condensaciones económicas de la información y de guías para la acción. *Una versión ligeramente modificada de la mejor técnica disponible (la de W. Craig) para la demolición de las teorías opera del siguiente modo. Se toma una teoría propiamente dicha, o sea, un sistema hipotético-deductivo T , que no dejará de contener conceptos teoréticos. Se derivan y reúnen todos los teoremas de nivel más bajo, o sea, los que pueden compararse con información empírica. Luego se sustituye en ellos todo término teorético por la correspondiente expresión empírica. Por ejemplo, si uno de los teoremas es acerca de un *rayo* de luz (concepto no-empírico) que cae sobre un *plano* (concepto no-empírico) con un determinado *ángulo* α (concepto no-empírico), se traduce por un enunciado referente a un estrecho *pincel* de luz que cae sobre una *superficie intermedia* con un *intervalo angular* $[\alpha - \varepsilon, \alpha + \varepsilon]$, siendo ε el error experimental. O sea, hay que tomar todo “resultado neto” t de la teoría y traducirlo por un enunciado t^* formulado en el lenguaje del experimentador, igual que se procedería si, en vez de reconstruir la teoría, se estuviera preparando su contrastación empírica. Luego se manejan esos enunciados observacionales t^* como ladrillos de una teoría-parodia T^* , libre de conceptos supuestamente inseguros (“expresiones auxiliares”), y, por tanto, aceptable para los filósofos de tendencia anti-teorética: cf. figura 8.4.

Más precisamente: tomar como axiomas de la nueva “teoría” T^* las conjunciones $t^* \& t^* \& \dots \& t^*$ de los teoremas de T traducidos a lenguaje empírico. Si la teoría original T es lo suficientemente rica, habrá infinitos teoremas y, por tanto, infinitas traducciones de ellos. Además: si T contiene por lo menos una magnitud continua, como la longitud, el conjunto $\{t\}$ de los teoremas será infinito y no numerable; pero el conjunto $\{t^*\}$ de sus traducciones posibles a lenguaje empírico será infinito numerable, porque la medición no da más que números racionales, los cuales son numerables (cf. sec. 13.2). En cualquier caso, la teoría “expurgada” T^* contendrá infinitos axiomas. Esta infinita complejidad formal (y sin interés) quedará más que compensada por su pobreza epistemológica.

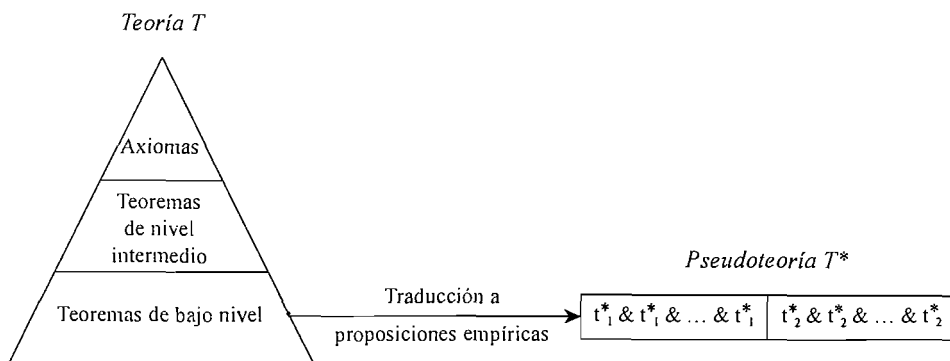


FIGURA 8. 4. La técnica de demolición de teorías de Craig. Se ha ilustrado el caso de una teoría sin variables continuas.

El procedimiento recién descrito no es una técnica para *construir* teorías de un cierto tipo, a saber, teorías que satisfagan estrechas exigencias empiristas o convencionalistas. En primer lugar, la teoría “expurgada” T^* no es en absoluto una teoría, puesto que no permite deducciones. Al no ser un conjunto de fórmulas parcialmente ordenado por la relación de deducibilidad, T^* deja de satisfacer las definiciones de “teoría” aceptadas en la lógica y en la ciencia (cf. sec. 7.3). En segundo lugar, la traducción T^* de T no contiene conceptos teoréticos y, por tanto, no se aplica al modelo ideal o esquematización que constituye el tuétano de las teorías (cf. sec. 7.1). Consiguientemente, T y T^* no pueden referirse a lo mismo; por ejemplo, si T refiere a electrones, T^* referirá acaso a sus huellas visibles en una nube. Esta diferencia en cuanto al correlato —y, por tanto, en cuanto a significación— es, desde luego, característica de toda teoría de objetos empíricamente inaccesibles (aunque tenidos por reales), desde los electrones hasta las naciones. En tercer lugar, la pseudoteoría T^* no puede construirse directamente a partir de los datos, y, por tanto, no satisface tampoco la exigencia inductivista: efectivamente, T^* presupone T , que es un sistema multinivel que hay que destruir antes de que sus ruinas puedan disponerse como una alfombra de la “teoría” T^* . Esta técnica de demolición de teorías, lejos de probar que los conceptos teoréticos, las hipótesis no-observacionales y las teorías son eliminables, da, pues, el tiro de gracia a todo intento de trivializar la ciencia eliminando sus conceptos e hipótesis trasempíricos.

Atendamos ahora a una tarea constructiva, a saber, el estudio del uso de las ideas matemáticas como instrumentos de la construcción de teorías.

Problemas

8.1.1. Discutir alguna teoría especulativa propuesta con la creencia en que es científica, y averiguar qué distingue la especulación científica de la que no lo es. Recuérdense las secs. 5.5 y 5.6. *Problema en lugar de ése*: Examinar la teoría de la decisión expuesta en el texto y determinar si sus conceptos clave (utilidad y probabilidad subjetivas) están bien definidos (son exactos) y si la teoría es empíricamente contrastable. Cf. M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Sciences*, New Haven, Yale University Press, 1996, cap. 14 y apéndice 4.

8.1.2. Discutir la exposición de las operaciones sucesivas de la construcción de teorías por P. Duhem, *La théorie physique*, París, Rivière, 1914, parte 1, cap. 2. *Problema en lugar de ése*: Discutir la diferencia entre el discurrir en zig-zag de la real construcción de teorías y su presentación final, o sea, entre la teoría natural y la teoría formalizada o semiformalizada.

8.1.3. Estimar la importancia relativa del descubrimiento y la invención. Indicación: Empezar por caracterizar y ejemplificar los conceptos de descubrimiento e invención, y establecer una distinción entre ciencia experimental y ciencia teórica. *Problema en lugar de ése*: Lo “dado” es para el teórico un conjunto de candidatas a hipótesis de descubridor. Su tarea consiste en “descubrir” hipótesis de nivel superior (lógica y/o epistemológicamente más fuertes) a partir de las cuales puedan deducirse las hipótesis de descubridor. ¿Hay reglas para inferir a la inversa (retroducción) esos supuestos iniciales? Dicho de otro modo: ¿Hay una lógica de la invención teórica, o podemos al menos esperar que se invente esa lógica? Recordar la observación de A. Einstein citada por R. S. Shankland, *Nature*, 171, 101, 1953: “No hay, desde luego, camino lógico que lleve al establecimiento de una teoría, sino sólo intentos constructivos por tanteo controlados por una cuidadosa consideración del conocimiento factual.” ¿Está justificado el uso que hace Einstein de ‘desde luego’?

8.1.4. Una vez establecido que ni los datos ni la lógica llevan a la teoría, ¿qué decir de los enunciados generales legaliformes (por ejemplo, el de la conservación de la energía) y de los enunciados metanomológicos (por ejemplo, la independencia de los enunciados legaliformes respecto del observador)? ¿Desempeñan algún papel en la construcción de teorías? *Problema en lugar de ése*: Discutir las recomendaciones negativas para la construcción de teorías dadas en el texto. Por lo que hace al evitar la presencia de enunciados negativos entre los axiomas cf. sec. 7.2. Por lo que hace a los enunciados modales, tener en cuenta que “posiblemente p ” puede ponerse en conjunción con “posiblemente no- p ” sin entrar en contradicción, de tal modo que un mismo dato puede dar apoyo a los dos enunciados a la vez.

8.1.5. Examinar la opinión según la cual una teoría científica no es más que un simple sumario de descubrimientos empíricos. ¿Es una opinión verdadera? ¿Es una guía eficiente para la construcción de teorías? ¿O es más bien un anticonceptivo de las teorías? *Problema en lugar de ése*: Bastantes años antes de inventar su monumental teoría del campo electromagnético, J. C. Maxwell estipuló las condiciones que tenía que satisfacer una tal teoría y, por tanto, el objetivo de un tal proyecto teórico. Esas condiciones eran: la nueva teoría tenía (i) que suministrar las leyes conocidas en sus dominios de validez, (ii) ampliarlas más allá de ese dominio, y (iii) interrelacionarlas. Cf., por ejemplo, su artículo “On Faraday’s Lines of Force”, 1856, en *Cientific Papers*, Cambridge University Press, 189, 1, pp. 155-156: “No puede presentarse ya ninguna teoría eléctrica que no muestre la conexión no sólo entre la electricidad estática y la corriente eléctrica, sino, además, entre la atracción y los efectos de inducción eléctrica en los dos estados. Una tal teoría tiene que satisfacer cuidadosamente las leyes cuya forma matemática conocemos, y tiene que suministrar los medios para calcular los efectos en los casos límites en los cuales las fórmulas conocidas son inaplicables.” Su propia teoría satisfizo esos desiderata estipulados anticipadamente. Relacionar este caso con la opinión de que toda teorización es una mera sistematización de informaciones de observación y se hace sin plan previo ni condiciones previamente impuestas al resultado.

8.1.6. ¿Qué es más conveniente para el progreso de la ciencia: la construcción de teorías limitadas, pero contrastables, o la de esquemas grandiosos, pero vagos y casi incontrastables, según la tradición de la física y la psicología aristotélicas? *Problema en lugar de ése*: Examinar la crítica según la cual la psicología y la sociología contemporáneas, por el hecho de haber decidido construir las teorías paso a paso y pieza por pieza, y teorías que suponen modelos muy idealizados de los hechos, constituyen un retroceso respecto de la psicología y la sociología del siglo XIX.

8.1.7. Tomar una teoría científica, identificar sus primitivas específicas y agruparlas en conceptos de nivel bajo (de “observación”), conceptos de nivel intermedio (“directamente inferibles”) y conceptos de nivel alto (construcciones). *Problema en lugar de ése*: E. Mach, B. Russell y A. N. Whitehead, P. W. Bridgman y R. Carnap, S. S. Stevens, N. Goodman y varios otros pensadores eminentes han propuesto con insistencia el programa que consiste en sustituir los conceptos y fórmulas teóricos por términos y fórmulas observacionales o por construcciones lógicas basadas en los datos sensibles. Estimar ese programa a la luz (i) de la historia del empirismo británico, (ii) de la historia del positivismo lógico, en la forma en que culmina con el Círculo de Viena, (iii) de la historia de la física, la química y la biología contemporáneas, y (iv) del teorema de Craig sobre la supuesta eliminación de conceptos teóricos.

8.1.8. Tomar una teoría científica, elegir un par de teoremas de nivel bajo de la misma y decidir si pueden considerarse como enunciados de observación propiamente dichos o si contienen ya conceptos teóricos. En el lenguaje del texto: tomar un par de teoremas, t_1 y t_2 , de una teoría científica (de una teoría existente, no una de esas que los filósofos se complacen en inventar *ad hoc* para ilustrar sus opiniones), y determinar si esos enunciados pueden confrontarse directamente con datos empíricos o si es necesario traducirlos antes por enunciados cuasi-observacionales, t^*_1 y t^*_2 , respectivamente. *Problema en lugar de ése*: examinar la difundida doctrina según la cual si

se realiza durante todo el tiempo necesario una deducción a partir de los supuestos de alto nivel de una teoría se terminará automáticamente con enunciados de observación, o sea la idea de que la deducción, si se lleva lo suficientemente lejos, nos trasladará de la teoría a la experiencia.

8.1.9. Examinar alguno de los siguientes artículos: (i) F. P. Ramsey, "Theories", en *The Foundations of Mathematics*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1931; (ii) W. Craig, "Replacement of Auxiliary Expressions", *Philosophical Review*, LXV, 38, 1956. Determinar, ante todo, si alguna de esas teorías de la teoría se aplica a teorías científicas existentes o si suponen más bien que toda teoría científica contiene fórmulas en las que no aparecen conceptos teoréticos ("auxiliares"). (Recuérdense los problemas 8.1.8.). Como el que esto escribe no conoce ninguna teoría de esas características, en el texto ha expuesto la técnica de Craig con la adición de que todo teorema se traduce a un lenguaje semiempírico que no es el de la teoría. Discutir el cambio de significación realizado al pasar de T a T^* . *Problema en lugar de ése*: Según el trabajo de Craig, la "sustitución" de conceptos teoréticos se paga al precio de una complejidad formal infinita. Discutir la importancia de este resultado para el principio de simplicidad. En particular, determinar si la tesis de la simplicidad es compatible con el fenomenismo, tal como se presentan ambos, por ejemplo, en el libro de N. Goodman, *The Structure of Appearance*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1951. Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, caps. 4 y 5.

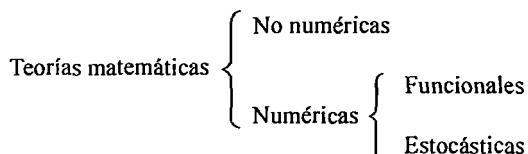
8.1.10. Discutir las tesis siguientes sobre la tarea del filósofo respecto de la teoría científica. (i) "El deber de los filósofos es montar la guardia en las puertas de la teoría científica para impedir la entrada de elementos lejanos de la experiencia." (ii) "Los filósofos no tienen que inmiscuirse en las teorías científicas; lo mejor que pueden hacer es aprender alguna de ellas e imitarla." (iii) "Los filósofos tienen derecho a examinar críticamente toda teoría científica, e incluso a proponer nuevos accesos a la construcción de teorías, siempre que estén familiarizados con el tema de su investigación."

8.2. MATEMATIZACIÓN

Prácticamente toda especialidad científica cuenta hoy con matemáticos entre sus empleados. En las ciencias poco desarrolladas suele apelarse a los matemáticos una vez conseguidas las observaciones, con objeto de que elaboren los datos. Se supone, en efecto, que la elaboración de datos es una manipulación numérica, la cual comprimirá y organizará los elementos de información hasta conseguir leyes; algunos llegan a creer que el matemático conseguirá resolver los datos hasta que aparezca una teoría completa, con todos sus requisitos. Esta suposición es errónea: no hay que llamar al matemático *in articulo mortis*, cuando ya se ha terminado la recolección de datos sin el beneficio de ideas claras; y tampoco hay que esperar que el matemático destile una teoría a partir de los datos, porque las teorías no son emanaciones de los datos. Si el matemático cumple correctamente su tarea estadística puede ser útil, pero también puede no serlo: la cosa depende del científico que haya planeado la observación, de las ideas que se supone confirman los datos, o de las que se suponen destruidas, así como de la significación e importancia de los datos. Si el matemático consigue producir una teoría que dé razón de un haz de datos, entonces es que ha hecho él el trabajo que se supone realizado por el científico especializado, esto es: habrá sido el matemático el que ha inventado el conjunto de hipótesis que

implican de algún modo los datos. En este proceso la matemática habrá suministrado cierto número de formas ya hechas en las que colocar ideas sustantivas. Todo esto tiene una clara moraleja: el científico tiene que aprender él mismo matemáticas y no consultar al matemático más que para los problemas específicamente matemáticos, los cuales tiene que saber plantear él mismo de modo puramente formal. Dicho brevemente: la matemática es de suma utilidad en la ciencia como instrumento para la construcción de teorías, pero no como sucedáneo de la teoría.

Dada una clase de hechos —o, por mejor decir, un conjunto de datos de los que se supone que informan acerca de hechos— pueden construirse diversas teorías para representarlos. Las teorías más precisas, aunque no necesariamente las más verdaderas, serán las matemáticas, o, más exactamente, teorías sustantivas con elementos matemáticos. Una teoría matemática de la ciencia factual es una teoría cuyos supuestos iniciales se expresan matemáticamente —son fórmulas matemáticas, en lo que respecta a su forma—, de tal modo que sus consecuencias pueden derivarse por los procedimientos matemáticos de deducción (cálculo) que están en gran parte normados. Puede hacerse una primera y grosera dicotomía entre las teorías matemáticas distinguiendo las numéricas de las no-numéricas; las primeras contienen variables numéricas. Los conceptos clave de las teorías matemáticas no numéricas son algebraicos (por ejemplo, relación ordenadora) o de teoría de conjuntos (por ejemplo, inclusión entre clases); son las teorías más simples, pero no se han desarrollado sino recientemente: aún tenemos que aprender a pensar según esas teorías básicas. Las teorías matemáticas numéricas, que son, con mucho, las más complejas y difundidas en la ciencia, utilizan sobre todo el álgebra clásica y el análisis. Pueden a su vez dividirse —interesándonos ya por el problema ontológico del determinismo— en funcionales y estocásticas. Los supuestos de las teorías funcionales son fórmulas que relacionan las variables numéricas que representan cada una alguna propiedad del modelo ideal manejado por la teoría; por ejemplo, en una teoría puede representarse el organismo como una función que proyecta un conjunto de factores (*inputs*) en un conjunto de productos (*outputs*). En las teorías estocásticas (o probabilísticas) las fórmulas son también funcionales, pero una por lo menos de las variables es casual (estocástica), o sea, es una variable que toma cualquiera de sus valores con una cierta probabilidad. Tenemos así la siguiente división:



En las ciencias del hombre las teorías formuladas matemáticamente se llaman a menudo *modelos matemáticos*, quizás para evitar la ambigüedad del término ‘teoría matemática’, que puede entenderse en el sentido de una parte de la matemática o en el de una teoría factual que utiliza fórmulas matemáticas. Otro motivo de preferir ‘modelo’ a ‘teoría’ puede ser el deseo de advertir al lector que se está construyendo un rudo esquema, un boceto idealizado, más que un fiel retrato de una parcela de realidad; pero esta advierten-

cia es prácticamente superflua para todo el que esté familiarizado con las teorías científicas. Una tercera razón puede ser el deseo de diferenciar la propia especulación, no realística, pero sobria, de los locuaces y confusos “sistemas” de tipo tradicional que aún se consideran teorías en las ciencias del hombre. Una cuarta razón puede ser el pudor que los científicos educados en la tradición empirista sienten ante las teorías: según esa tradición el científico se ocupa de los “hechos consistentes”, y no de “meras teorías”, pero tiene derecho a descansar jugando con “modelos”. Los físicos, que empezaron a aprender el lenguaje de las matemáticas al mismo tiempo que los matemáticos mismos, no suelen hablar de *modelos* matemáticos, ni siquiera de teorías *matemáticas* en su terreno: para ellos está claro que las ideas físicas más importantes tienen que expresarse matemáticamente. Por eso hablan simplemente de física teórica —para distinguirla de la física experimental— y reservan la expresión ‘física matemática’ para designar la investigación de problemas puramente matemáticos que se presentan en la física teórica, los cuales tienen un interés instrumental para los físicos, pero escaso para los matemáticos puros, como no sea en su condición de posible fuente de otros problemas matemáticos. El mismo proceso de maduración ocurrirá probablemente en lo que ahora llamamos ‘biología matemática’, ‘psicología matemática’ y ‘sociología matemática’: es posible que un día se las llame biología teórica, psicología teórica y sociología teórica respectivamente. Esto puede ocurrir cuando el actual y revolucionario proceso de matematización de esas ciencias haya adelantado tanto que ningún teórico de ellas necesite disculparse de inventar modelos abreviados, ni de formular las propiedades de esos modelos en un lenguaje matemático.

Un científico matemáticamente preparado tenderá espontáneamente a estructurar sus teorías en lenguaje matemático, aunque no sea más que porque encontrará más claro y más fácil ese lenguaje que la correspondiente formulación verbal en lenguaje común, la cual será imposible en numerosos casos. Cuando se ha gustado una vez la precisión, el poder deductivo y la elegancia formal, el paladar se niega al alimento en bruto y tiende a pensar que lo *prematemático* es *preteórico*. De hecho, la matematización no depende tanto de la materia u objeto cuanto (i) del estado de la disciplina, (ii) de que el científico se dé cuenta de que no pueden construirse teorías sin olvidar detalles e inventar modelos esquemáticos, y (iii) de la base matemática de la educación del científico. Es inútil intentar la matematización de una disciplina antes de existir un cuerpo mínimo de teoría científica y de claridad conceptual: imaginamos lo que habría sido un intento de matematizar la química antes de Lavoisier. Una vez obtenido un grado mínimo de madurez, la matematización posibilitará una ulterior clarificación y un mayor desarrollo; los conceptos se afinarán por la mera “traducción” de los enunciados verbales a fórmulas matemáticas. Consiguientemente, el fracaso en el intento de matematizar un campo de conocimiento puede ser un índice del estado confuso de ese campo o de las limitaciones del teórico. Un científico social con una formación y un punto de vista clásicos, puede ser aficionado a la vaga pomposidad y enemigo del acceso matemático a la construcción de teorías, mientras que un sociólogo de formación matemática tenderá naturalmente a pensar de modo matemático. Y sólo esto puede permitirle el concebir un modelo ideal de su objeto, esto es, un conjunto de relaciones *determinadas* entre variables *determinadas*.

Por ejemplo: puesto ante el problema de la comunicación en el seno de grupos huma-

nos o animales, el científico social con formación matemática puede proponer un modelo centrado en la hipótesis de que los contactos entre individuos son casuales (como se supone en el modelo de elección de A. Rapoport). El científico social de mentalidad tradicional se aterrará tal vez ante esta enorme simplificación: ¿no sabemos todos, en efecto, que jamás elegimos a las demás personas accidentalmente? ¿En qué circunstancias se producen el amor y el odio? ¿No son la casualidad y la elección recíprocamente incompatibles? El científico de orientación moderna contestará probablemente, y en primer lugar, que nuestro encuentro y nuestra elección de (o, en general: nuestra comunicación con) otras personas *son*, como puede probarse, azarosos en gran medida; en segundo lugar, que un modelo de elección al azar tiene la clara ventaja de mostrar en qué medida nuestro efectivo comportamiento comunicativo *no* es casual, puesto que las desviaciones de las predicciones del modelo respecto de la evidencia empírica sugerirán una elección deliberada en vez del encuentro accidental; en tercer lugar, que esas discrepancias pueden mostrar cuáles son los caminos para conseguir teorías más adecuadas de la comunicación en el seno de los grupos; y, en cuarto lugar, que un modelo casual es relativamente sencillo y debe, por tanto, ponerse a prueba antes de construir otro modelo más complicado.

Un conato de matematización o de construcción de modelos matemáticos, por poco realista que sea, es preferible a una descripción prolija que no aclare nada o a un esquema verbal grandioso e impreciso. Los que reprochan a los científicos sociales matematizadores el ser poco realistas muestran (i) una falta de la perspectiva histórica necesaria para juzgar una empresa naciente, (ii) una falta de familiaridad con el principal objetivo de la teorización, que no es la reproducción o sumarización detallada de la experiencia, sino la comprensión de ésta, y (iii) una falta de familiaridad con la naturaleza de la teoría factual, cuyo núcleo es un modelo, o sea, una representación conceptual, más o menos esquemática, de un sistema real complejo (cf. sec. 7.1).

La simplicidad no tiene nada malo mientras no se la confunda con un objetivo absoluto. La simplicidad, rasgo de las teorías jóvenes, no puede ser un objetivo de la teorización porque la simplificación es el desprecio de rasgos reales, de tal modo que los modelos más simples pueden ser los menos realistas (cf. sec. 8.1). Pero la simplificación en un *medio* para posibilitar el trabajo teórico; cuando se ha mostrado que una teoría es aproximadamente verdadera, es posible complicarla, o sea, enriquecerla en un intento de mejorar su adecuación. Así, por ejemplo, la teoría de los gases empezó representando un gas como una colección de libres partículas puntuales; la mejora siguiente consistió en sustituir las partículas puntuales por esferas elásticas, y en introducir débiles fuerzas entre ellas; con eso se pasó a tener en cuenta luego la estructura interna de las moléculas, y una vez puestos en ese camino no se ve ya dónde puede terminar el perfeccionamiento de la teoría.

Las simplificaciones inherentes a la teorización se aprecian con particular evidencia en el caso de las teorías matemáticas de la ciencia factual. La simplificación se producirá en ellas, ante todo, ya en la selección de las variables básicas y de sus relaciones, o sea, en la construcción del modelo; pese a ello, el modelo puede resultar aún demasiado complejo para obtener de los supuestos consecuencias sometibles a contrastación. En este caso hay que introducir simplificaciones más o menos brutales, la mayoría de las cuales consiste en simplificar o hasta despreciar términos enteros de alguna ecuación.

*Por ejemplo, los axiomas de la dinámica de los fluidos y de la teoría de la gravitación no son lineales; y hasta las soluciones exactas de las ecuaciones lineales pueden ser demasiado complejas para fines de interpretación, aplicación o contrastación, de modo que el experimentador y el tecnólogo añadirán corrientemente otras simplificaciones más a las ya hechas por el teórico. En esos casos la comparación de la teoría dada, T , con la evidencia empírica, e , no se hace directamente a través de la deducción de consecuencias contrastables (por ejemplo, predicciones) de T , sino a través de una *teoría intermedia* T_n , que constituye una aproximación de orden n a T y que da soluciones s_n , exactas en T_n y sólo aproximadas en T (cf. fig. 8.5). Dicho brevemente, aunque la teoría se haya construido sacrificando montañas de detalles, pueden ser necesarias ulteriores simplificaciones para manejarla empírica o aplicativamente, a menos que se inventen nuevas técnicas matemáticas de cálculo más poderosas que las anteriores.*

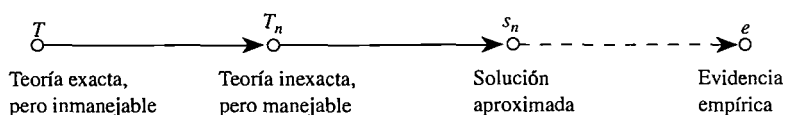


FIGURA 8.5. La contrastación empírica de una teoría que tenga supuestos iniciales muy complejos (pero que se suponen también muy precisos) exige la construcción de una teoría intermedia más simple con problemas efectivamente resolubles.

La generalización es también muy visible en el caso de los modelos matemáticos. Esto se comprende fácilmente al recordar que la generalización puede conseguirse (i) despreciando ciertos aspectos o abstrayendo de ellos, y/o (ii) desinterpretando, vaciando de contenido factual. La primera vía hacia la generalización premia, por así decirlo, el olvido de la complejidad real, y, como hemos visto, es un rasgo característico de la construcción de modelos matemáticos. La segunda técnica de generalización —la abstracción— puede aplicarse en cuanto que se ha construido un “modelo” matemático, sin más que ignorar las reglas de interpretación que le dan un contenido específico. Por ejemplo: es posible construir una teoría general del contagio que recubra toda clase de procesos de difusión de algo: epidemias, costumbres, rumores, creencias y lo que sea. Los supuestos básicos de la teoría son: (i) Todo individuo “infectado” se convierte en agente de contagio, y (ii) Habrá tantos más individuos “infectados” cuantos más candidatos (o sea, individuos “no infectados”) queden. Esas dos ideas pueden unirse en un axioma único: La tasa de cambio de la fracción de individuos “infectados” es proporcional a la fracción de individuos ya “infectados” y a la fracción de individuos aún “no infectados”. (La misión de las comillas consiste aquí en recordar que no se está pensando en ningún proceso particular de contagio.)

*Salvo por lo que hace a la falta de símbolos precisos, el último enunciado es esencialmente matemático, porque contiene variables determinadas, definidas, y una relación definida entre ellas y que puede traducirse fácilmente a lenguaje matemático. Llamemos $C(t)$ a la fracción de individuos “infectados” en el momento t , y $DC(t)$ a la tasa de incre-

mento de esta fracción también en el tiempo t . ($DC(t)$ no es un concepto independiente, sino que es definible en base a C y t por medio del concepto de límite; efectivamente, $DC(t)$ es la derivada de $C(t)$ respecto de t . Si no contáramos con el cálculo infinitesimal, tendríamos que introducir la tasa de contagio como concepto propio independiente, o sea, como una primitiva más.) Con esos símbolos nuestro axioma puede simbolizarse por la siguiente ecuación:

$$DC(t) = kC(1 - C), \quad 0 \leq C \leq 1, \quad k > 0 \quad [8.1]$$

(La segunda fórmula, que determina el campo de C , es en realidad un axioma más.)*

*Al escribir las anteriores fórmulas hemos supuesto tácitamente las siguientes reglas de interpretación:

$I(t)$ = tiempo, $I(C)$ = fracción de contagio.

En cuanto a la constante k , por el momento no tiene más interpretación que la matemática; es un coeficiente de proporcionalidad. Para poder aplicar el cálculo infinitesimal hacemos un *supuesto auxiliar* que es típico de los procedimientos de matematización: pretendemos, en efecto, que $C(t)$ y $DC(t)$, que en realidad son variables discretas, puedan ser objeto de aproximación mediante variables continuas sin que se produzcan distorsiones de importancia (cf. fig. 8.6). Esta simplificación es sin duda una abierta violación de los datos de observación, pero, sobre todo, no consiste en una mera ignorancia de detalles: consiste en la introducción de un concepto teórico —a saber, $C(t)$ — por medio del cual se construye un modelo que resulta razonablemente adecuado siempre que se trate de una comunidad o población grande, pues en este caso la variación discontinua de $DC(t)$ puede obtenerse con aproximación mediante una variación continua.

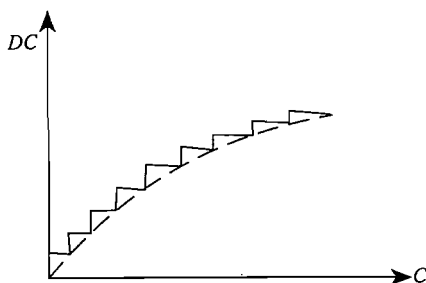


FIGURA 8.6. El proceso real de contagio en una población se produce por saltos, discontinuamente: es la línea llena; su representación matemática es en cambio continua (línea punteada).

En la ecuación del contagio, [8.1], podemos leer algunos rasgos de este proceso que no estaban ni mucho menos obvios y manifiestos en la formulación del supuesto básico en el lenguaje ordinario. En primer lugar, si $C = 0$, entonces $DC = 0$; o sea: para que empiece el proceso de contagio tiene que haber al menos un portador. En segundo lugar,

el máximo de la tasa de contagio, que es $k/4$, se alcanza cuando se encuentra afectada la mitad de la población. En tercer lugar, a partir de ese punto la tasa de contagio desciende, y alcanza el 0 cuando está “enferma” toda la población (cf. fig. 8.7). El mero enunciado matemático del supuesto básico, junto con la técnica elemental de la representación gráfica, ha sido, pues, una fuente de nueva información. Si queremos utilizar plenamente la potencia deductiva de la matemática tenemos, de todos modos, que resolver la ecuación para $C(t)$. Y, por último, tenemos que trazar esta solución y comparar la curva teórica con los datos empíricos: éste es un tratamiento ya común y de rutina aplicado a todo modelo matemático. El resultado es:

$$C(t) = 1/(1 + Ae^{-kt}) \quad [8.2]$$

fórmula en la cual el valor de la constante de integración A puede determinarse a partir de la condición inicial $C(0)$. El gráfico que representa la función $C(t)$ es la curva logística, que describe cierto número de procesos de “contagio”, biológicos, sociales e incluso históricos, como la expansión territorial de los imperios (cf. fig. 8.7). Si la solución supera la contrastación empírica, declaramos que el supuesto básico [8.1] ha quedado confirmado hasta nuevo aviso.*

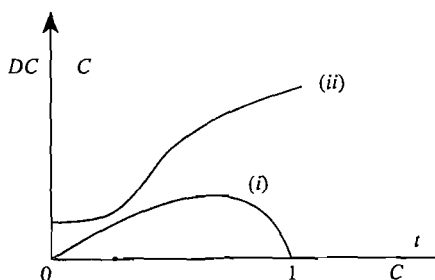


FIGURA 8.7. (i) La curva de contagio que visualiza la ecuación [8.1]. (ii) La curva logística que representa la función [8.2].

Pero no hay que detenerse una vez conseguida la confirmación, esto es: no hay que darse por satisfechos con la falta de evidencia desfavorable. Hay que intentar suministrar *evidencia positiva de un tipo más profundo*. En el caso de la teoría del contagio esa evidencia favorable y más profunda se conseguiría hallando un *mecanismo* plausible del contagio. Dicho de otro modo: incluso en el caso de que una teoría fenomenológica del contagio supere la *representación* empírica, intentaremos reforzarla y comprenderla construyendo una teoría *representacional* subyacente a ella. El contagio por contacto es una hipótesis razonable para una tal teoría más profunda. Ahora bien: ‘contacto’ es un término vago; tenemos que afinarlo si es que deseamos en serio teorizarlo. El modo menos comprometido de hacerlo consiste en introducir el concepto cuantitativo de probabilidad de contacto, p , entre un individuo “infectado” y otro “no-infectado”. Otra teoría aún más profunda especificará el modo de contacto y la clase de “germen” transmitido durante el

mismo; pero la introducción de la nueva primitiva p bastará para construir una teoría más profunda que la fenomenológica inicial, porque apunta a un nivel que se encuentra por debajo del efecto neto de los contactos entre individuos. De hecho, la hipótesis de sentido común “El contagio es por contacto” puede analizarse del modo siguiente: (i) La tasa de aumento de la fracción “infectada” es proporcional a la probabilidad de contactos entre individuos “infectados” y “no-infectados”; (ii) La probabilidad de contacto es proporcional a la fracción de individuos “infectados” y a la de “no-infectados”

*La base de la nueva teoría es pues:

$$C1 \quad DC(t) = k_1 p \quad [8.3]$$

$$C2 \quad p = k_2 C(1 - C), \quad 0 < k_2 \leq 1, \quad 0 \leq C \leq 1 \quad [8.4]$$

con las reglas de interpretación de la anterior teoría más

$I(p)$ = probabilidad de contacto entre un individuo “infectado” y otro “no-infectado”.*

La primera teoría tenía dos primitivas $-t$ y $C-$ y un axioma principal. La nueva teoría tiene tres primitivas $-t$, C y $p-$ y dos axiomas principales. La teoría matemática que subyacía a la primera era el análisis; la segunda teoría presupone además la teoría de la probabilidad, y es por tanto más rica formalmente. Como la nueva teoría —que es estocástica— tiene más fórmulas, puede dar lugar a más contrastaciones. Tal vez la nueva variable pueda controlarse independientemente, y acaso los dos supuestos básicos de la teoría sean contrastables por separado. Por eso mismo —o sea, por tener más consecuencias refutables por la observación— la nueva teoría es mucho menos cierta que la anterior. Y es que cuanto menos digamos más podemos esperar parecer sabios. Pero hay que preferir la segunda teoría a la primera precisamente porque es más plenamente contrastable y porque suministra una comprensión más profunda del proceso de contagio.

El abandono del primer planteamiento, el fenomenológico, ha llevado a un análisis más profundo. Pero ese análisis no puede ser el final: hemos formulado la hipótesis de que el contagio es por contacto; pero no hemos especificado cuál es la materia (o la información) que se transmite durante el contacto, ni hemos dado detalles sobre el proceso de contacto. En particular, hemos tratado de probabilidad de contacto como un dato último, mientras que una teoría más profunda la consideraría como una función, digamos una función de la configuración espacial y de la movilidad de los agentes, así como de su inmunidad y de la virulencia del “material” transmitido. Dicho brevemente: en esa teoría más profunda la probabilidad se consideraría como una propiedad física resultante de propiedades más fundamentales, como una especie de efecto último de una serie de factores. En cuanto que se hacen esas especificaciones, en cuanto que se introducen nuevas hipótesis sobre el mecanismo de contagio, se puede obtener una teoría más profunda y más realista. Pero hay que pagar un precio por ella: se perderá el amplio campo de validez de la inicial teoría fenomenológica, porque ahora se subrayarán las *diferencias* específicas entre los procesos de contagio, en vez de atender, como antes, a sus analogías; en algunos casos se tratará de la comunicación de información, en otros de transmisión de

energía, en otros de transmisión de gérmenes, etc. Con las nuevas teorías sabremos más acerca de menos. (Sobre la alternativa fenomenológico/representacional, cf. sec. 8.5; sobre la complementariedad extensión/profundidad, cf. sec. 9.6.)

Ahora podemos ya estimar las ventajas de las teorías matemáticas sobre las verbales. Enumerémoslas.

1. *Utilidad para la construcción de teorías.* La matemática suministra símbolos ya fijados que, interpretados adecuadamente, pueden usarse en cualquier ciencia; recuérdense, por ejemplo, los conceptos de intersección de conjuntos y de probabilidad. La formulación de los supuestos factuales en un lenguaje matemático adecuado y su sometimiento a elaboración matemática—algo así como poner los huevos de la observación en el nido de la matemática y dejar que ésta los incube—es un procedimiento tanto más valioso cuanto más pobres son los supuestos sustantivos o factuales: se pueden conseguir teorías muy desarrolladas manejando modestos supuestos iniciales con poderosos instrumentos matemáticos. La ventaja de esta técnica del cuclillo no debe, sin embargo, cegarnos por lo que hace a la pobreza sustancial de las ideas iniciales—ceguera que se puede ejemplificar con una gran parte de la psicología y la física contemporáneas. Por otro lado, en cuanto que aumenta el número de variables y se hacen más complejas las relaciones entre ellas, la matemática se impone, porque resulta lisamente imposible manejar sin su ayuda un modelo complejo. Ésta es una de las razones por las cuales es imposible popularizar y divulgar las ecuaciones básicas de la física teórica, pese a los heroicos esfuerzos por formularlas en lenguaje ordinario. Piénsese, por ejemplo, en una de las ecuaciones de Maxwell,

$$\nabla \times H = (1/c) \frac{\partial D}{\partial t} + 4\pi j.$$

Si la matematización no fuera más que una especie de traducción—una mera reformulación simbólica cuidadosa—, sería posible vertir esa ecuación en palabras. Pero no lo es.

2. *Precisión.* Tómese una proposición como “El desarrollo del conocimiento depende del cuerpo de conocimiento disponible”, que no es más impreciso que las conjeturas típicas de la mayoría de las ciencias del comportamiento. Esa proposición puede entenderse en el sentido de que el conocimiento disponible causa, o hace posible al menos, su propio crecimiento, o en el sentido de que ambas variables, el conocimiento y la tasa de crecimiento del conocimiento, dependen de una tercera variable no mencionada. Aun suponiendo que la primera interpretación sea la adecuada, queda sin especificar la forma de la dependencia afirmada: el enunciado verbal es compatible con infinitas matematizaciones, todas las cuales caen bajo el esquema “ $DC = f(C)$ ”, fórmula en la cual ‘ DC ’ designa la tasa de crecimiento del cuerpo de conocimiento, C , y ‘ f ’ la aludida dependencia (cf. problema 8.2.8). Generalizando: detrás de una sola teoría verbal puede haber una infinidad de teorías precisas. Dicho de modo menos optimista: las teorías verbales no son teorías plenamente interpretadas, sino sistemas parcialmente interpretados; sólo los “modelos” matemáticos pueden ser o llegar a ser sistemas semánticos plenos. (Sobre la diferencia entre teoría abstracta y modelo, cf. sec. 7.4). Consiguientemente, las teorías no matemáticas que tanto abundan en las ciencias del hombre son, hablando propiamente,

esquemas indeterminados: cada uno de ellos es potencialmente un conjunto infinito de teorías —todas precisas, pero por nacer. Según esto, la indeterminación semántica de las teorías prematemáticas es infinita: esas teorías pueden servir, en el mejor de los casos, como guías preliminares para la construcción de teorías determinadas. Pero repitamos también aquí una advertencia: la precisión no debe identificarse con el rigor cuantitativo. Todo enunciado cuantitativo es exacto, pero la recíproca no es verdadera, como muestra cualquier enunciado referente a la inclusión entre clases o a la precedencia. Moraleja: las teorías matemáticas no cuantitativas rinden, en cuanto a precisión, lo mismo que las cuantitativas.

3. *Potencia deductiva.* En el lenguaje ordinario es tan difícil llevar a cabo deducciones bien elaboradas —e incluso controlarlas— como formular relaciones complejas; y tan difícil es averiguar si una determinada conclusión se sigue de los supuestos explícitos, sin necesidad de premisas tácitas. Intuitivamente no puede identificarse más que las implicaciones más obvias; pero las que no son obvias pueden resultar las más importantes, y requerir especiales técnicas deductivas. Recuérdese que Newton tuvo que inventar el cálculo infinitesimal para poder probar su conjetura de que sus ecuaciones del movimiento, junto con su ley de gravedad, implicaban las órbitas de Kepler.

4. *Contrastabilidad.* La precisión y la potencia deductiva producen la contrastabilidad: cuantas más consecuencias lógicas —y más precisas— tiene una teoría, tanto mejor se presta a contrastaciones empíricas. En cambio, las teorías verbales pueden ser casi irrefutables. Una proposición como “*y* depende de *x*” queda confirmada siempre que *y* no sea independiente de *x*; por tanto, es compatible con una gran variedad de hallazgos empíricos. Pero una confirmación tan barata tiene muy poco valor, como no sea en cuanto indicio, como sugestión para buscar una relación precisa de dependencia entre *y* y *x*.

5. *Ventajas metateoréticas.* Una formulación precisa en lenguaje matemático es lo que mejor puede sacar a la luz las inconsistencias y la falta de independencia de las primitivas o de los supuestos iniciales.

6. *Comparación con teorías rivales.* La región de desacuerdo entre teorías alternativas para un mismo tema puede localizarse del mejor modo si están matematizadas; y lo mismo vale por lo que hace a la comparación de sus virtudes y defectos respectivos. Se tiene, además, la ventaja de que la matematización puede minimizar —aunque acaso no eliminar— los tonos emocionales y las consideraciones extracientíficas que suelen producirse en esas comparaciones.

Tras haber cantado las excelencias de la matematización, tenemos ahora que poner en guardia contra un par de erróneas creencias sostenidas por acríticos entusiastas de la matematización, desde Pitágoras hasta Eddington. La primera de ellas es la que piensa que la matematización coincide con la formulación en el lenguaje de la matemática cuantitativa, como el álgebra clásica y el análisis. Sin duda la mayoría de las personas está más acostumbrada a la matemática clásica, que es predominantemente cuantitativa, y, por tanto, encuentra más cómodo el formular las hipótesis cuantitativamente; además, las hipótesis cuantitativas son del tipo más preciso. Pero la aplicación de la matemática cuantitativa exige un alto nivel de la investigación empírica, y seguramente se podría acelerar la marcha de la investigación intentando aplicar las herramientas, más débiles, de la matemática relacional cuando las cosas no están aún maduras para planteamientos más precisos.

Otra de esas creencias consiste en pensar que el tratamiento matemático de un tema asimila éste a la matemática. Por esta razón la mecánica racional —el primer campo plenamente matematizado de la física— se consideró hasta hace poco como una rama de la matemática. Son visibles los resultados positivos de esta confusión: algunos de los cerebros matemáticos más potentes se aplicaron a la mecánica e hicieron progresar esa materia. El daño producido por la confusión fue menor, pero apreciable: pasaron a primer plano muchos problemas puramente académicos y la ciencia pareció inmune a toda refutación empírica, hasta el punto de que la crítica a la mecánica newtoniana se tomaba a veces como un insulto a los matemáticos. Esa opinión es errónea, como puede ver obviamente todo el que recuerde que, a diferencia de las teorías de la matemática pura, las teorías factuales contienen reglas de interpretación que establecen una correspondencia entre símbolos y conceptos de los que se supone que representan objetos no matemáticos, por ejemplo, propiedades físicas. La idea de que “el número y la figura” producen por sí mismos la verdad se basa parcialmente en la difundida confusión entre *verdad* y *validez*. Si los supuestos de una teoría son factualmente verdaderos, entonces también lo son sus teoremas; la validez de la deducción asegura la conservación de la verdad. Pero, como es natural, no podemos saber si los axiomas son verdaderos; lo más que podemos esperar es que algunas de sus consecuencias resulten razonablemente compatibles con la evidencia empírica. Además, no vale la afirmación inversa: un mismo teorema puede quedar implicado por infinitas bases axiomáticas distintas; si $\{A\} \vdash t$, entonces también $\{A, B\} \vdash t$, siendo B una fórmula cualquiera. La matematización asegura la validez de las derivaciones y permite una comprobación fácil y cómoda de las mismas. Pero los axiomas pueden ser falsos aunque estén formulados impecablemente; e incluso, hablando estrictamente, son necesariamente falsos, puesto que se refieren a un modelo altamente idealizado.

La creencia en que la matemática garantiza la verdad está tan extendida que puede valer la pena presentar una teoría matemáticamente correcta y factualmente vacía: la siguiente *teoría axiomática de los fantasmas*.

Primitivas específicas

U , un conjunto de fantasmas; E , la energía fantasmal; d , la densidad ectoplásmica; t , la edad del fantasma; y N el número de perversidades realizadas por un fantasma en la unidad de tiempo.

Axiomas

A1. Para todo x de U , la energía de x es directamente proporcional a la densidad del ectoplasma de x e inversamente proporcional a la edad de x :

$$E = k_1 \frac{d}{t}, \quad t > 0, k_1 > 0.$$

A2. Para todo x de U , la densidad del ectoplasma de x es una función lineal del número de perversidades que x realiza en la unidad de tiempo:

$$d = k_2 N + d_0, \quad k_2 > 0, d_0 > 0.$$

A3. Para todo x de U , el número medio de perversidades realizadas por x en la unidad de tiempo es constante:

$$N_{MED} = k_3, \quad k_3 > 0.$$

Los teoremas más interesantes se siguen inmediatamente.

T1. Por A1 y A2,

$$E = k_1 (k_2 N + d_0) / t.$$

T2. Por A3, después de un periodo T el número de perversidades aumenta hasta

$$N(T) = N_{MED} T = k_3 T.$$

T3. De T1 y T2 se obtiene la energía fantasmal tras un periodo T :

$$E(T) = k_1 (k_2 k_3 T + d_0) / T = k_1 k_2 k_3 + k_1 d_0 / T.$$

T4. Por T3, para un T que se aproxime a infinito, la energía tiende a

$$E_\infty = k_1 k_2 k_3 = \text{constante}.$$

O sea, que los fantasmas se mantienen gracias a la perversidad. Lo cual concuerda con la evidencia. Por otro lado, T4 es contra-intuitivo, si se tiene en cuenta A1. Dicho de otro modo: A1 mismo es contra-intuitivo, como normalmente debe serlo todo supuesto de nivel alto.

El anterior ejemplo debería dejar en claro que la matematización no es sin más el método científico. No hay método científico sin contrastación empírica, y la matemática, aunque sin duda refuerza la contrastabilidad, no es ella misma una contrastación, sino que, por el contrario, es ajena a todo procedimiento empírico. La matemática no basta, pues, en sí misma, para constituir la ciencia; pero en toda disciplina acaba por alcanzarse un punto más allá del cual no pueden conseguirse progresos importantes si no se utilizan instrumentos matemáticos para construir y elaborar las teorías. Dicho de otro modo: aunque la matemática no garantiza la cientificidad, el método científico acarrea un aumento o intensificación del uso de los conceptos y las teorías de la matemática.

A pesar de lo cual la matematización no es el estadio final que puede alcanzar una teoría. Lo que corona realmente la teorización es la formalización completa, a la que vamos a atender ahora.

Problemas

8.2.1. Revisar los volúmenes del *Journal of Theoretical Biology*, el *Journal of Mathematical Psychology*, *Journal of Quantitative Linguistics*, o los de *Operational Research Management Science*, o *Applied Mathematical Modelling*, e informar brevemente sobre las teorías matemáticas expuestas en ellos.

8.2.2. Resumir y comentar algunas de las teorías expuestas en las siguientes obras: (i) D'A. W. Thompson, *On Growth and Form*, 2a. ed., Cambridge. Cambridge University Press, 1942, especialmente lo relativo a la magnitud y a la teoría de las transformaciones. (ii) J. M. Smith, *Mathematical Ideas in Biology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1968. (iii) H. Solomon (ed.), *Mathematical Thinking in the Measurement of Behavior*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1960. (iv) L. B. Leopold "Rivers", *American Scientist*, 50, 511, 1962. (v) "Symposium on Mathematical Theories of Biological Phenomena", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 96, 895, 1962. (vi) J. G. Kemeny y J. L. Snell, *Mathematical Models in the Social Sciences*, Boston, Ginn, 1962. (vii), R. D. Luce, R. Bush y E. Galanter, *Handbook of Mathematical Psychology*, Nueva York, Wiley, 1963ss., 3 vols., y *Readings in Mathematical Psychology*, Nueva York, Wiley, 1963ss., 2 vols.

8.2.3. Bastantes personas se oponen a la construcción de modelos matemáticos en las ciencias del hombre. ¿Por que? Examinar, entre otras, las siguientes explicaciones alternativas pero compatibles unas con otras. (i) Porque piensan que lo humano es demasiado complejo para poder matematizarlo: "No es posible comprimir la riqueza del hombre en una fórmula, ni sujetar a leyes su libre voluntad". (ii) Porque ignorar la matemática y, consiguientemente, ésta les asusta. (iii) Porque la construcción de "modelos" matemáticos en las ciencias del hombre a] pone de manifiesto, por contraste, la vaciedad teórica de las escuelas tradicionales, y b] pone en peligro las varias ideologías tradicionales porque acostumbra a la gente a pensar con precisión.

8.2.4. Examinar la argumentación de Kant contra la posibilidad de convertir la psicología en una ciencia: toda ciencia propiamente dicha es cuantitativa; la psicología no puede cuantificarse; luego la psicología no puede llegar a ser científica. *Problema en lugar de ése*: Se ha afirmado que la elaboración de una "teoría parapsicológica de campo" que estuviera matematizada establecería el carácter científico de esa actividad. Estimar esa pretensión.

8.2.5. Un argumento frecuentemente usado contra la utilización de la matemática en la construcción de teorías acerca del hombre es que muchas de las teorías así construidas han fracasado. ¿Establece eso la futilidad del planteamiento mismo, o más bien y simplemente el limitado éxito de los intentos hechos hasta el presente? En general: los fracasos en la realización de los programas científicos. ¿prueban la inadecuación de éstos? Si no es así, ¿cómo podemos estimar críticamente esos programas? *Problema en lugar de ése*: Se sostiene o supone corrientemente que la matemática propia de la psicología y la sociología es la "finitista". ¿Es eso una verdad eterna?

8.2.6. Matematizar la siguiente teoría sociológica en miniatura hallada en el libro de H. Zetterberg, *On Theory and Verification in Sociology*, y reimpresa en P. Lazarsfeld y M. Rosenberg, *The Language of Social Science*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1955.

A 1 Cuanto mayor es la división del trabajo, tanto mayor es la solidaridad.

A 2 Cuanto mayor es la solidaridad, tanto mayor es la uniformidad.

A 3 Cuanto mayor es el número de miembros del grupo, tanto mayor es la división del trabajo en él.

Intentar la siguiente matematización del impreciso enunciado relacional "cuanto mayor es x , tanto mayor es y ": $y = kx$, con k constante. Derivar algunos teoremas. Comparar, por último, los resultados que se obtengan con los conseguidos por el propio Zetterberg sin usar la matemática.

8.2.7. La hipótesis de que la tasa de crecimiento del cuerpo de conocimiento C es proporcional al tamaño del cuerpo de conocimiento mismo puede escribirse del modo siguiente:

$$dC = aCdt$$

fórmula que puede leerse: el incremento dC del conocimiento en el intervalo de tiempo dt es proporcional al volumen C del conocimiento disponible y al intervalo de tiempo. Con la ayuda del cálculo integral deducimos

$$C(t) = C(0)e^{at},$$

siendo $C(0)$ el cuerpo del conocimiento disponible en el momento $t = 0$. El gráfico de esa función, que se muestra en la figura 8.8, es la curva de crecimiento real del número de periódicos científicos publicados durante el último siglo, por ejemplo. Es también la curva que representa la llamada ley de crecimiento cultural acelerado (siendo la aceleración relativa a^2), hallada por los antropólogos al registrar los datos. Preguntas: (i) ¿A qué disciplina pertenecen las anteriores consideraciones? (ii) ¿Tienen alguna consecuencia para la epistemología? (iii) ¿Cuáles son las diferencias entre las ecuaciones de crecimiento diferenciales e integrales? (iv) ¿Qué es más ventajoso: partir de las primeras o de las últimas? (v) La producción de conocimiento, ¿satisface la ley económica de los rendimientos decrecientes?

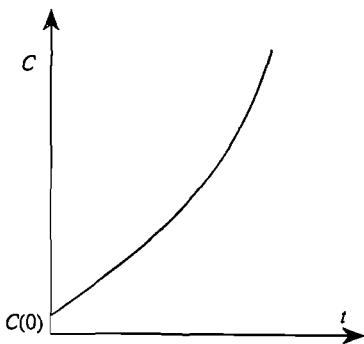


FIGURA 8.8. Crecimiento exponencial del conocimiento científico, estimado por la masa de literatura científica.

8.2.8. Elaborar y discutir la siguiente generalización de la ecuación del incremento del conocimiento presentada en el problema anterior. Sea el conjunto de referencia un conjunto de N unidades en comunicación recíproca (personas, profesiones, etc.) capaces de aprender y de producir conocimiento. Denotemos por C_i la cantidad de conocimiento (o de aprendizaje) de la unidad i -ésima. Supongamos que la velocidad dC_i/dt con que la unidad i -ésima aprende (o contribuye al conocimiento) es una función lineal de lo conocido por esa misma unidad (o sea, $a_{ii}C_i$), de lo conocido por los otros miembros del conjunto (esto es, de $\sum_{j \neq i} a_{ij}C_j$) y de la velocidad con la cual aprenden o crean conocimiento esos otros miembros del conjunto (o sea, de $\sum_{j \neq i} b_{ij} dC_j/dt$).

Forma de la ecuación:

$$dC_i/dt = \sum_{j=i}^N a_{ij}C_j + \sum_{j \neq i}^N b_{ij} dC_j/dt$$

Ése es un sistema de N ecuaciones diferenciales ordinarias, que puede aplicarse al aprendizaje y al crecimiento del conocimiento en cualquier situación caracterizada a la vez por la competición y la cooperación. El primer término del miembro de la derecha de cada ecuación representa la transmisión de conocimiento, y es responsable del carácter acumulativo del crecimiento del conocimiento. El segundo término de ese mismo miembro de la derecha representa la estimulación (por emulación, por ejemplo) o la inhibición (por ejemplo, por discriminación y secreto) del conocimiento; representará procesos de involución, de estancamiento o de revolución según sean los signos de los coeficientes b_{ij} . Los $2N^2$ coeficientes a_{ij} y b_{ij} son resúmenes fenomenológicos de ciertas propiedades de las unidades supuestas; esas propiedades deben presentarse explícitamente a un nivel de análisis más profundo. En cualquier caso, resumen capacidades innatas, las propiedades de los canales de comunicación y de los métodos de aprendizaje que les hacen estimular o inhibir el crecimiento del aprendizaje y/o del conocimiento.

8.2.9. Analizar y ejemplificar los cuatro usos de la matemática (discursivo, normativo, funcional y estructural) en psicología según G. A. Miller, *Mathematics and Psychology*, Nueva York, Wiley, 1964.

8.2.10. Ilustrar y analizar las siguientes afirmaciones de J. L. Synge en *Geometrical Optics: A Introduction to Hamilton's Method*, Londres, Cambridge University Press, 1937, p. 1: "Una teoría científica 'perfecta' puede describirse como una teoría que procede lógicamente a partir de unas pocas hipótesis simples hasta llegar a conclusiones en acuerdo completo con la observación, dentro de los límites de precisión de ésta... A medida que aumenta la precisión de las observaciones, una teoría deja de ser 'perfecta': se introducen modificaciones que hacen a la teoría más complicada y menos 'útil'... en realidad el hombre ha creado siempre teorías 'ideales'. La naturaleza es demasiado complicada para considerarla si no es en forma simplificada o idealizada, y es inevitable que esa idealización lleve a discrepancias entre la predicción teórica y la observación". *Problema en lugar de ése*: Las simplificaciones y exigencias impuestas por la construcción de "modelos" matemáticos y/o por la solución de sus supuestos iniciales, ¿justifican la doctrina convencionalista (o neokantiana) de que todas nuestras teorías son *ficciones*, en el sentido de falsificaciones deliberadas y autocontradictorias de la realidad, sin más control que su utilidad? Puede verse una exposición completa del ficcionismo en H. Vaihinger, *Die Philosophie des Als Ob*, 4a. ed., Leipzig, Meiner, 1920. Advertencia: no asustarse.

8.3. *RECONSTRUCCIÓN (FORMALIZACIÓN)

Se dice que una teoría está *lógicamente reconstruida* o *plenamente formalizada* si su base está formulada de un modo exacto y total. La formalización completa de una teoría consiste en la formulación simbólica (no verbal) explícita y completa de los axiomas de la teoría, y en la formulación o mención más plena posible de los supuestos y las reglas de la teoría; estas últimas se formulan en el metalenguaje de la teoría, el cual no suele ser un lenguaje formalizado. Simbólicamente:

$$\text{Formalización} = \text{Simbolización} + \text{Axiomatización} + \text{Reglas} + \text{Supuestos}$$

La axiomatización comprende la enumeración (pero no la dilucidación explícita) de los símbolos primitivos y la definición explícita de los conceptos derivados. Las reglas

que deben formularse, o mencionarse al menos, son las normas de formación y transformación de las fórmulas complejas (éstas son las reglas sintácticas) y las normas de interpretación (que son las reglas semánticas). Por lo que hace a los presupuestos de una teoría rara vez se mencionan, si no es en la ciencia formal; pero es deseable hacerlo si se quiere evitar la perplejidad en que se sumen tantos filósofos cuando se les muestra la simplicidad de la base de algunas teorías imponentes.

Pocas veces se intenta también la formalización completa, si no es en las ciencias formales, las cuales han suministrado siempre el paradigma de la formalización desde que Euclides creyó (erróneamente) que había formalizado por completo la geometría, y aún más desde que Hilbert (también equivocándose) pensó que la formalización puede agotar una teoría y ser, por tanto, final, terminal, no corregible. La mera enumeración de los presupuestos de una teoría puede ser todo un problema en el caso de las teorías factuales, las cuales presuponen no sólo instrumentos formales (lógicos y/o matemáticos), sino también ideas pertenecientes a otras teorías factuales; además, los presupuestos no pueden verse muchas veces sino a la luz de ulteriores desarrollos. Pero el hecho de que la mayoría de las veces las uvas estén verdes no disminuye en nada su valor. La axiomatización del núcleo de una teoría es deseable aunque no sea más que porque posibilita o favorece el reconocimiento de la independencia de los axiomas y de la consistencia, además de suministrar un criterio exacto de demostración. Y la formalización añade a esas ventajas la enumeración explícita de los presupuestos y las reglas que, en otro caso, podrían aceptarse tácita y acríticamente: al formularlas de un modo explícito es más posible tenerlas bajo control. Cuanto más adelante se lleva la formalización, tanto más constrictiva se hace la argumentación y tanto mejor pueden darse los métodos no empíricos de contrastación de la adecuación de la teoría. En resolución: la reconstrucción lógica o formalización equivale a poner las cartas encima de la mesa e invitar a un examen crítico perfeccionador.

Ejemplifiquemos esas ideas. Nuestra primera ilustración será una teoría matemática poco sustanciosa: la teoría de la *cuasi-ordenación*, o *congruencia*. Expondremos sólo los *fundamentos* de la teoría, prescindiendo de sus definiciones y teoremas.

0. *Presupuestos*

La lógica elemental (el cálculo proposicional y el cálculo de predicados —o cálculo funcional— de primer orden con identidad) y la teoría elemental de conjuntos. Este cuerpo de presupuestos suministra, entre otras cosas, los signos lógicos de la teoría: las conectivas $\&$ y $\rightarrow$; el cuantificador universal $(x)_u$, que se lee 'para todo x de U '; y los *signos* auxiliares '(' y ')

1. *Primitivas* (alfabeto)

Una constante que designa un conjunto, $U = \{x, y, x, \dots\}$

Una relación binaria: $\sim$.

2. *Reglas de formación* (sintaxis de las fórmulas)

FR1 ' $x \sim y$ ' es una fórmula correcta o bien formada (fbf).

FR2 Toda fórmula compuesta de fbf, o fórmulas correctas, y una o más conectivas lógicas es un fbf, o fórmula correcta.

FR3 La generalización universal de una fbf es una fbf.

3. Reglas de transformación (sintaxis de la derivación o deducción)

TS Si en una fbf se subroga una variable individual por cualquier otra variable del mismo tipo se obtiene una nueva fbf (y precisamente un teorema trivial).

(La enumeración de las reglas de formación y de transformación es redundante si se mencionan los presupuestos de la teoría. Aquí se han formulado esas reglas para seguir el uso corriente y para recordar que cuando se presupone o se toma como dado un sistema previo, se carga con todas sus reglas de formación y de transformación.)

4. Axiomas (supuestos iniciales)

C1 Para todo x de U , $x \sim x$ la congruencia es reflexiva; o sea;

$$(x)_U(x \sim x) \quad [8.5]$$

C2 Para todo x, y y z de U , si $x \sim z$ e $y \sim z$, entonces $x \sim y$; o sea:

$$(x)_U(y)_U(z)_U(x \sim z \ \& \ y \sim z \rightarrow x \sim y) \quad [8.6.]$$

5. Interpretaciones

Modelo 1: Congruencia de triángulos planos.

RI1 $I(U)$ = el conjunto de los triángulos planos.

RI2 $I(\sim)$ = es semejante a.

Modelo 2: Congruencia de cuerpos rígidos.

RI3 $I(U)$ = el conjunto de las varillas sólidas rígidas.

RI4 $I(\sim)$ = puede yuxtaponerse exactamente a.

Modelo 3: Descendencia.

RI5 $I(U)$ = todas las personas.

RI6 $I(\sim)$ = tiene un antepasado en común con.

Los fundamentos de una teoría formal (lógica o matemática) formalizada constan de *seis niveles*: los presupuestos, las primitivas, las reglas sintácticas de formación y transformación, los axiomas y las reglas de interpretación, si las hay; todo el resto de la teoría son definiciones o teoremas. Los fundamentos de una teoría factual formalizada pueden tener una estructura más simple: pueden pasarse por alto las reglas de formación y de transformación, porque van ya incluidas en las teorías lógicas y matemáticas subyacentes. Un procedimiento eficaz para mostrar cómo está construida una teoría factual formalizada consiste en presentar un ejemplo. Tomaremos como tal un fragmento de la

teoría del aprendizaje que se conoce con el nombre de *teoría del refuerzo*: empezaremos por exponer un esbozo de la teoría natural, o ingenua, y luego intentaremos formalizarla.

La hipótesis central de la teoría es la siguiente: “Las respuestas se refuerzan [esto es: se hacen preferibles para el organismo] por el premio, y se debilitan por el castigo”. Para construir una teoría partiendo de ese supuesto utilizaremos el marco general de la teoría de la utilidad (cf. sec. 8.1). A base de esta teoría la hipótesis anterior puede reformularse del siguiente modo: “Se prefieren las respuestas de utilidad más alta [valor subjetivo]”. Por de pronto, esto no es más que una versión fuerte del primer axioma de la teoría general de la utilidad expuesta en la sección 8.1. Para introducirlo en la psicología tenemos que afinar y especificar los conceptos de preferencia y utilidad y hacerlos objetivamente medibles. Con esta finalidad puede asignarse un número —al menos en sentido ordinal— a la utilidad $u(e, r)$ del efecto e asociado a la respuesta r . Análogamente puede asociarse otro número a la utilidad $u(-e, r)$ de la misma respuesta asociada a cualquier otro efecto posible ($-e$). La preferencia se cuantificará con la ayuda del concepto de probabilidad: diremos que el efecto e se prefiere a cualquier otro resultado posible, $-e$, si la probabilidad (objetiva) de la respuesta r elegida para conseguir e aumenta de intento a intento. Llamando $P(r, t)$ a la probabilidad de que la respuesta r sea elegida por el organismo en el intento t -ésimo, la dilucidación de “preferencia” resulta: r se prefiere a $-r$ si y sólo si $P(r, t+1) > P(r, t)$. Con la introducción del concepto de probabilidad nos aseguramos automáticamente la ayuda de la teoría de la probabilidad, lo cual proporciona determinación conceptual y potencia deductiva; al mismo tiempo se refuerza la contrastabilidad empírica de la teoría, porque la preferencia equivale ahora a aumento de la probabilidad y, para fines de contrastación, la probabilidad se interpretará como frecuencia a largo plazo, la cual es medible.

La hipótesis central de la teoría del refuerzo —“Se prefieren las alternativas de utilidad más alta”— puede escribirse ahora así:

$$u(e, r) > u(-e, r) \leftrightarrow P(r, t+1) > P(r, t) \quad [8.7]$$

Pero sigue tratándose de una hipótesis semicuantitativa (más precisamente: de una hipótesis ordinal): la hipótesis no formula cuál es exactamente el cambio del valor de P de intento a intento, y por eso no puede inferirse de ella gran cosa. Si queremos formular una teoría más rica tenemos que determinar más la inicial. Esto puede conseguirse admitiendo alguna función específica que relacione las probabilidades de intentos sucesivos. El supuesto más simple posible es que la razón de las probabilidades de una respuesta dada en dos intentos sucesivos sea constante, esto es, un número independiente del intento. Probemos, pues, el siguiente axioma muy simple (y, por lo tanto, sospecho);

$$\text{Axioma} \quad u(e, r) > u(-e, r) \leftrightarrow P(r, t+1) = kP(r, t), \quad k \geq 1 \quad [8.8]$$

Esa fórmula recursiva nos permite calcular el cambio de la probabilidad en cualquier secuencia de ensayos. Efectivamente: para el segundo intento tenemos $P(r, 2) = kP(r, 1)$, y para el tercero $P(r, 3) = kP(r, 2)$. Introduciendo la primera ecuación en la segunda,

obtenemos $P(r, 3) = k^2 P(r, 1)$. Y usando la técnica de la inducción matemática, obtenemos el teorema general:

$$\text{Teorema 1} \quad P(r, t) = k^{t-1} P(r, 1) \quad [8.9]$$

El cambio sucesivo y acumulativo debido a refuerzos sucesivos se obtiene fácilmente a partir de esa fórmula sustrayendo $P(r, 1)$ y dividiendo por el mismo número (de acuerdo con la definición de “cambio relativo”);

$$\text{Teorema 2} \quad \frac{P(r, t) - P(r, 1)}{P(r, 1)} = k^{t-1} - 1 \quad [8.10]$$

Con la ayuda de la teoría de la probabilidad pueden establecerse otros varios teoremas: por ejemplo, teoremas sobre la probabilidad de respuestas alternativas $r \vee r'$ y respuestas conjuntas, $r \& r'$. Éste es otro ejemplo de cómo una entera teoría factual puede producirse mediante el añadido de un solo supuesto específico (extramatemático) a un cálculo matemático, según aquella técnica del cuclillo antes aludida.

No nos interesará aquí el hecho de que en esa forma la teoría del refuerzo es demasiado simple para ser verdadera. Se obtendrá una teoría más realista complicando la hipótesis central—por ejemplo, eligiendo relaciones más complicadas—o sustituyéndola por otro supuesto completamente distinto. (Para empezar, $P(r, t+1)$ no depende sólo de $P(r, t)$, sino también del efecto de t). Y se obtendrá una teoría más profunda si las probabilidades se relacionan de algún modo con conceptos biológicos sobre mecanismos nerviosos, por ejemplo. El anterior esbozo de teoría no tenía más sentido que el de servir como material para un ejercicio de formalización. He aquí una formalización posible:

0. *Presupuestos*

Genérico: la lógica elemental y la teoría elemental de probabilidades (la cual presupone a su vez la teoría elemental de conjuntos y la aritmética).

Específico: la teoría bernoulliana de la utilidad o, por lo menos, sus primitivas específicas, y ante todo el concepto genérico de utilidad, que se especificará más adelante.

1. *Primitivas específicas*

Un conjunto R de respuestas r de un organismo.

Un conjunto E de efectos e asociados a una respuesta dada r .

Una sucesión T de ensayos t .

La utilidad $u(e, r)$ de un efecto e asociado a una respuesta r .

La probabilidad (objetiva) $P(r, t)$ de una respuesta r al t -ésimo ensayo.

2. *Axioma*

$$(e)_E (r)_R (t)_T [u(e, r) > u(-e, r) \leftrightarrow P(r, t+1) = kP(r, t)], \quad k \geq 1 \quad [8.11]$$

3. *Regla de interpretación en lenguaje empírico*

R1 El valor numérico de la probabilidad $P(r, t)$ se obtiene aproximadamente por

la frecuencia relativa a largo plazo con la cual una amplia población de organismos análogos (por ejemplo, estudiantes de primer curso) elige la respuesta r en el t -ésimo ensayo. [Dicho de otro modo: las probabilidades de que se trata son objetivas.]

En realidad tendríamos que añadir reglas de interpretación para los otros cuatro símbolos primitivos de la teoría; pero no es necesario hacerlo en la práctica, porque las hemos pasado de contrabando, como suele hacerse, al enumerar las primitivas.

El fragmento de base teórica que acabamos de formalizar no contiene variables dimensionales, como “longitud” o “tiempo”, salvo acaso “utilidad”. Cuando una teoría contiene variables dimensionales se dice corrientemente que hay que añadir a los fundamentos de la teoría otro conjunto más de enunciados, a saber, todas las convenciones relativas a escalas y criterios de medición (de los cuales nos ocuparemos en el capítulo 13). Éstas pueden llamarse las *convenciones pragmáticas* incluidas en la contrastación empírica de una teoría. No las contaremos entre los fundamentos de la teoría, y ello por tres razones. En primer lugar, las convenciones pragmáticas son irrelevantes para la significación objetiva de la teoría, o sea, para su referencia: no son relevantes más que para la contrastación empírica de la teoría, y en esto, además, pueden cambiar según el tipo de contrastación empírica de la teoría, y en esto, además, pueden cambiar según el tipo de contrastación, mientras que la teoría no se altera por ello. En segundo lugar, la significación y el valor veritativo de una teoría son invariantes respecto de los cambios de escala. En tercer lugar, las unidades son, en cuanto criterios, convencionales, hasta el punto de que una de las exigencias que se ponen a las fórmulas legaliformes es que sean invariantes respecto de los cambios de unidad. Así, por ejemplo, las leyes newtonianas del movimiento no tuvieron que formularse de nuevo cuando la Revolución Francesa introdujo el sistema métrico decimal en el lugar de los varios sistemas medievales usados en tiempos de Newton. Las unidades y los patrones no intervienen en una teoría hasta que se introducen los datos, o sea, hasta que se establecen contactos con la experiencia. Por ejemplo: si nos referimos a la ley galileana general “ $v = gt$ ” en algún lugar situado al nivel del mar y en el Ecuador, especificamos ‘ g ’ escribiendo $9,80 \text{ m/s}^2$, o bien $31,83 \text{ ft/s}^2$. Por todas esas razones diferimos la discusión de las convenciones pragmáticas hasta el capítulo 13.

En general, pues, podemos considerar que los *fundamentos de una teoría factual formalizada* constan de los siguientes niveles: los presupuestos, la lista de primitivas, los axiomas y las reglas de interpretación en lenguaje factual y/o empírico. El descubrimiento y el examen crítico de esos fundamentos con el mayor detalle posible es el objeto de la *investigación de fundamentos* o *investigación básica*, la cual es una intersección de la ciencia y la filosofía, lo que le acarrea el descuido de científicos y filósofos.

Una teoría factual se completa (idealmente) con el añadido de definiciones, teoremas y convenciones pragmáticas. En resumen, la composición de una teoría completamente formalizada es:

<i>Fundamentos o base</i>	{	<i>Presupuestos</i> (genéricos y específicos)	}	<i>Estructura primitiva</i>
		<i>Primitivas</i> (símbolos primitivos no definidos)		
		<i>Axiomas</i> (supuestos iniciales no demostrados)		
		<i>Reglas de interpretación</i>		
		<i>Definiciones</i>		
		<i>Teoremas</i>		
		<i>Convenciones pragmáticas</i> (p. ej., acerca de unidades)		

Los componentes formales, o no empíricos, de una teoría factual tienen que encontrarse entre los presupuestos (teorías lógicas y matemáticas) y en las definiciones. Los demás componentes de una teoría factual tienen contenido factual o referencia, aunque sea indirectamente. Las reglas de interpretación, que atribuyen una significación a las primitivas de la teoría y a veces también a algunos de sus términos definidos, indicarán parcialmente cuál es el referente de la teoría. La clase de referencia o universo del discurso se manifestará entre las primitivas y mostrará acerca de qué habla la teoría.

Si los referentes de la teoría no se mencionan cuando se interpretan las primitivas se produce un peligro grave de interpretación equívoca o errada (e incluso de interpretaciones múltiples en conflicto). Así, por ejemplo, si una teoría atómica trata del sistema complejo constituido por un átomo y un instrumento de medición, entonces algunos de los parámetros del último (variables clásicas) se presentarán explícitamente entre las primitivas de la teoría, y, consiguientemente, en las ecuaciones básicas (axiomas) de la misma. No se conseguirá nada bueno interpretando los teoremas a base de entidades y propiedades no mencionadas en la lista de primitivas o en las definiciones. Una tal interpretación, que no está garantizada por las reglas de interpretación iniciales y que afecta a símbolos que de hecho no se presentan en los supuestos iniciales, será una interpretación arbitraria. En particular, si el observador no se introduce en una teoría atómica *ab initio*, o sea, si los parámetros y la interacción del observador con el sistema que se supone observado no aparecen en las ecuaciones básicas, entonces no podrá decirse que la teoría se refiera a un objeto atómico emparejado con el observador —y aun menos que el objeto haya sido producido por el observador como por medio de un conjuro. Análogamente, los teoremas de la mecánica newtoniana no pueden interpretarse a base de los conceptos aristotélicos de potencia y lugar natural, porque estos conceptos no se presentan ni como primitivas ni como conceptos definidos en la mecánica newtoniana. Del mismo modo, el vitalista no tiene derecho a interpretar ningún teorema de la biología científica sobre la base de un hálito vital o de una fuerza inmaterial organizadora; si desea usar esos conceptos tiene que construir una nueva teoría que los contenga, y que muestre cómo se relacionan con propiedades observables. Proclamemos, en resolución, la siguiente *Regla*: No introducir de contrabando correlatos que no se presenten en los supuestos básicos. Esta regla es una especificación de la exigencia de cierre semántico formulada en la sec. 7.2. Parece una regla obvia, pero su violación es de hecho la fuente de toda una serie de erradas interpretaciones filosóficas de la ciencia, entre ellas la interpretación subjetivista de las relaciones de incertidumbre (cf. sec. 7.4).

Las primitivas de una teoría factual tienen que poseer significación *factual*, pero no

necesariamente una significación *operacional*, en el sentido de representar propiedades observables o medibles. Así, por ejemplo, la acción en mecánica, los potenciales en la teoría del campo, y la función en la teoría atómica carecen de significación operacional: no pueden medirse ni siquiera indirectamente, como ocurre con la masa, la resistencia eléctrica o el índice de refracción; sólo ciertos símbolos derivados tienen correlatos observables. Un convencionalista diría que tan sublimes construcciones no son más que útiles fuentes para obtener funciones que permiten a su vez obtener predicados de observación. Un realista contestaría que, además de ser, desde luego, importantes fuentes de predicados de nivel inferior, esas construcciones tienen un alcance factual aunque carezcan de correlato empírico. Y puede basar su afirmación en el papel que esas construcciones desempeñan en la teoría: todas ellas se manejan como propiedades de sistemas físicos, no como símbolos vacíos y sin fundamento. Así, por ejemplo, dada la acción queda determinada la clase de sistema físico a que se refiere una teoría; prescribir los potenciales de un campo es lo mismo que indicar la clase y el estado de ese campo; y al escribir la función ψ de un sistema se caracteriza su estado. Todas esas construcciones están, pues, coordinadas con correlatos reales desde el primer momento, y se tratan como propiedades iniciales de esos correlatos. El hecho de que estén lejos de la experiencia no prueba que sean ficciones, sino más bien que, tal como se dan, son inadecuadas para la descripción directa de la experiencia.

La presencia esencial (irremplazable) de construcciones (conceptos no-observacionales) en las teorías progresadas de la ciencia factual se debe a la estructura del mundo y al lugar del hombre en él, al hecho de que la experiencia humana no tiene acceso más que a hechos de dimensión intermedia, y sólo a algunos, que no son ni atómicos ni cósmicos. De hecho, todo fenómeno (hecho experienciable) es o bien (i) el efecto de decenas de miles de hechos microscópicos inobservables, o bien (ii) uno de un enjambre multitudinario de acontecimientos que constituyen un solo hecho de un sistema gigante inobservable, como la sociedad o el universo (cf. fig. 8.9).

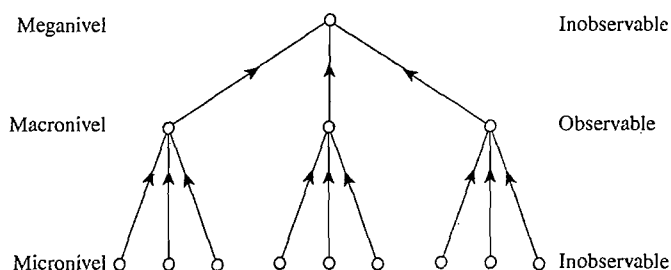


FIGURA 8.9. La experiencia humana: a medio camino entre el electrón y el cosmos.

En cualquiera de los dos casos los objetos mismos (los correlatos de la teoría), con todas sus propiedades, se encuentran fuera del alcance de la experiencia personal y tienen que ser, por consiguiente, objeto de hipótesis. Pero en ambos casos controlamos nuestras construcciones mediante la observación de lo que es observable.

Ahora bien: puesto que los observables no son recomendables como primitivas de teorías objetivas, no antropocéntricas, ¿de qué modo seleccionaremos los inobservables en la asombrosa selva de las construcciones posibles? Un criterio podría ser la elección de los conceptos mejor entendidos. Pero la comprensión o intuibilidad es en gran medida una cuestión personal y circunstancial; así, por ejemplo, el concepto de conjunto es para unos cristalinamente claro, y oscuro para otros. Además, si ese criterio se adoptara como principio de selección, no se introducirían jamás en la ciencia conceptos radicalmente nuevos: de hecho, lo nuevo no es familiar, y la novedad radical no puede introducirse sino en la base, o sea, en forma de conceptos o supuestos primitivos. ¿Aconsejaremos entonces la mayor libertad en la elección de las primitivas, como quieren los convencionalistas? En alguna medida eso es posible y deseable, especialmente en la ciencia formal: cualquier “exceso” es preferible al filisteo aferrarse a la experiencia familiar. Pero ni siquiera en el caso de los juegos abstractos se encuentra libertad completa. Incluso en ellos la elección de los conceptos básicos está determinada por el estadio del conocimiento y por los puntos de vista dominantes. Así, por ejemplo, el concepto de número natural, considerado como la primitiva por excelencia en la matemática del siglo XIX, fue luego desplazado por el concepto de conjunto.

Por lo menos en las ciencias factuales, la elección de las primitivas parece guiada por los siguientes desiderata, en gran parte tácitos: (i) *riqueza máxima*, o sea, máximo número de relaciones posibles con otros conceptos, de tal modo que puedan construirse ricos sistemas de fórmulas y definirse un gran número de términos en función de las nociones primitivas; (ii) *máximo grado de abstracción* (en sentido epistemológico), o sea, mayor distancia posible respecto de la experiencia inmediata, para que puedan construirse fórmulas de nivel alto y mucha generalidad; (iii) *máxima profundidad*, en el sentido de referencia a propiedades fundamentales u originarias que puedan dar razón del mayor número posible de propiedades derivadas.

Este último desiderátum puede relacionarse con el requisito lógico de riqueza, pero no coincide con él: la profundidad de un concepto está determinada por el lugar que ocupa su correlato en la estructuración objetiva de los niveles de la realidad. Pero sabemos muy poco acerca de esto. Por ejemplo: no sabemos si es un rasgo objetivo del mundo o un mero accidente histórico lo que nos lleva a considerar el tiempo, la posición y la masa como primitivas recíprocamente independientes. Nos defendemos mejor construyendo teorías que al intentar explicar por qué las construimos como lo hacemos.

¿Qué puede esperarse de la investigación de fundamentos? Formulada la pregunta de otro modo: ¿cuál es el objetivo y cuál es el resultado de la reconstrucción de teorías, o formalización? La reconstrucción racional de una teoría no suele arrojar nuevos resultados científicos de importancia, aunque puede dar algunos resultados laterales, por así decirlo, y frecuentemente revela errores básicos en la teoría natural considerada. La formalización tiene dos objetivos capitales: uno de ellos es teorético, el otro metateorético. El principal *objetivo teorético* de la formalización consiste en aportar o reforzar orden y claridad, eliminar redundancias, señalar vacíos y, en general, mejorar la lógica de la teoría. El *objetivo metateorético* de la formalización consiste en facilitar la investigación de la teoría misma, mostrando su estructura lógica, sus presupuestos y su contenido factual y empírico. Esto facilitará resueltamente la estimación y la crítica, así como, llegado el

caso, la corrección de la teoría. Tal es el valor práctico de la formalización, dejando aparte la satisfacción que el metacientífico pueda recibir de ella.

La lógica y la matemática modernas se han beneficiado enormemente de la formalización, pero hasta el momento no se han hecho más que intentos sueltos de formalizar fragmentos de teorías factuales. Ni siquiera la mecánica newtoniana están aún axiomatizadas –por no decir ya formalizadas– de un modo que satisfaga a todos los físicos. El sexto problema de Hilbert –la axiomatización de las teorías físicas– sigue sin resolver. Los mayores logros de la moderna ciencia factual se han conseguido sin formalización. De eso puede inferirse que la formalización no es necesaria para el progreso científico; que no es tampoco suficiente queda de manifiesto por el hecho de que la formalización no puede suplir ni la invención ni la contrastación. Pero todo eso no prueba que la formalización sea superflua, ni que toda la investigación de fundamentos sea un pasatiempo sin importancia: también el parto puede desarrollarse sin asepsia ni preparación para que tenga lugar sin los dolores y traumas psíquicos tradicionales, y eso no prueba que la asepsia y aquel condicionamiento carezcan de valor. La investigación de fundamentos tiene que acelerar el progreso teórico aunque no sea más que porque sólo cuando una teoría se ha formalizado en alguna medida –y no antes– podemos conjeturar qué supuestos tienen que restringirse, flexibilizarse, alterarse o abandonarse pura y simplemente. La formalización no puede sustituir la concepción y no produce teorías perfectas, pero sí que suministra las formulaciones más adecuadas para un examen crítico, lo cual es un requisito previo del progreso científico. Además, la formalización ilumina la naturaleza de la teoría; por eso puede esperarse de ella que facilite la construcción teórica. Y por último –pero no en el último lugar de importancia–, la formalización es una tarea constructiva que los filósofos pueden realizar en cooperación con los científicos: por eso tendría que contribuir a infundir al científico una actitud filosófica y a los filósofos una actitud científica, con lo que contribuiría también a cerrar la vieja guerra entre la ciencia y la filosofía.

Problemas

8.3.1. Formalizar una sencilla teoría lógica o matemática, como la teoría de la identidad. Poner luego a prueba una interpretación (por ejemplo, de la identidad como igualdad empírica o fenoménica): o sea, averiguar si la teoría interpretada encaja con los hechos.

8.3.2. La geometría se definía tradicionalmente como la ciencia de las figuras, y casi todos los tratados de geometría contienen figuras. Además, la mayoría de las demostraciones utilizan figuras en la geometría elemental. De eso parece haber inferido Kant que las figuras son indispensables para el razonamiento geométrico. Hasta muy a finales del siglo XIX no se descubrió que Euclides había empleado algunas proposiciones que no se presentan entre sus axiomas ni se siguen de ellos, sino que están materializadas en algunas figuras que utiliza. ¿Prueba eso que las figuras sean esenciales para la geometría y, consiguientemente, que ninguna parte de la geometría pueda formalizarse? ¿O prueba más bien (i) que la geometría elemental tiene modelos concretos y (ii) que la enseñanza de la geometría se facilita mediante el uso de modelos visuales? *Problema en lugar de éste*: Discutir la tesis de que la formalización tiene un efecto intimidatorio, que paraliza la crítica y que sería mejor que los artículos científicos se escribieran como narraciones autobiográficas. Cf. J. W. N. Watkins, “Confession is Good for Ideas”, en D. Edge (ed.), *Experiment*, Londres, BBC, 1964.

8.3.3. Informar acerca de uno de los pocos casos en que los presupuestos de una teoría factual se mencionan explícitamente, a saber: la teoría de la terminología de parentesco propuesta por G. P. Murdock en su *Social Structure*, Nueva York, Macmillan, 1949, pp. 130-138. *Problema en lugar de ése*: Por lo menos tres clases de fórmulas no han recibido lugar alguno en nuestro tratamiento de las teorías formalizadas, aunque son relevantes para las teorías: problemas, datos e hipótesis filosóficas. ¿Por qué?

8.3.4. Las teorías físicas no especifican el valor de constantes universales como la velocidad de la luz, la carga del electrón o la unidad de acción; pero cuando esas teorías se aplican o someten a contrastación se introducen los valores numéricos precisos de esas constantes. ¿Por qué? *Problema en lugar de ése*: Especular acerca de la clase de conceptos primitivos que uno escogería si fuera del tamaño de un átomo o del de una galaxia (suponiendo, un tanto audazmente, que en esos casos uno pudiera especular).

8.3.5. Examinar los siguientes argumentos en favor y en contra de la presentación formal de un tema científico en la enseñanza media y superior. (i). “La tarea de demostración de teoremas se facilita notablemente si se enumeran y aducen explícitamente los axiomas, las definiciones y las reglas: así recibe el estudiante un punto de partida y un asidero firme”. (ii) “Sólo estableciendo vínculos con la experiencia puede conseguirse una comprensión del tema: por tanto, el acceso intuitivo al mismo es más eficiente que el formal”. ¿Afectan esos argumentos al mismo aspecto de la cuestión? ¿Son realmente incompatibles? *Problema en lugar de ése*: ¿Sería posible explicar la ebullición del agua o la agitación en Oriente Medio con teorías que no contuvieran conceptos trasobservacionales?

8.3.6. Discutir la siguiente estimación de la oportunidad de la formalización: “La formalización no es deseable sino tras un periodo de crecimiento, contrastación y crítica de la teoría natural dada; dicho brevemente: sólo cuando se tiene seguro que la teoría es una buena aproximación. La formalización prematura puede ser peligrosa, porque sugiere que la teoría está realmente terminada y, además, apoyada por la matemática. Éste fue de hecho el efecto de la axiomatización de la termodinámica por Carathéodory y de la axiomatización de la mecánica de los *quanta* por Von Neumann.” Cf. M. Bunge, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978, cap. 8.

8.3.7. Desde Euclides se ha pensado siempre que la mejor reconstrucción de una teoría científica es su axiomatización. la última enérgica formulación de este punto de vista se encuentra en el clásico artículo de D. Hilbert “Axiomatisches Denken”, *Mathematische Annalen*, 78, 405, 1918, cuya lectura es recomendable por su claridad. Los teoremas de incompletud de K. Gödel han puesto en duda aquel punto de vista: hoy sabemos que ni la teoría de conjuntos ni la aritmética pueden agotarse mediante sistemas axiomáticos. Por eso algunos han pensado que la axiomatización no es la mejor reconstrucción y que otros sistemas no axiomatizables pueden ser reconstrucciones más fieles de las teorías científicas. Cf. G. Th. Skolem (ed.), *Mathematical Interpretation of Formal Systems*, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1955. Discutir esa opinión. Por lo que hace al trabajo de Gödel, véase K. Gödel, “Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia mathematica* y sistemas afines”, en *Obras Completas*, Madrid, Alianza Editorial, 1981.

8.3.8. Formalizar una teoría factual relativamente sencilla, como la óptica de los rayos de luz, la estática, la termodinámica clásica o la teoría de los circuitos directos. Indicación: pedir una beca. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el papel de los enunciados metanomológicos (cf. sec. 6.7) en la construcción y formalización de teorías.

8.3.9. El energetismo —la concepción fenomenológica que fue muy difundida en la física entre 1890 y 1910, y en favor de la cual se pronunciaban G. Kirchhoff, W. Ostwald, P. Duhem, E. Mach y otros— sostenía que la “energía” debía tomarse como el concepto básico (primitivo) de toda teoría física, en lugar de la posición y el tiempo (que eran los preferidos por los mecanicistas). ¿Tenía esa idea algo lógicamente malo? En caso afirmativo, ¿qué? ¿Y cuál puede haber sido el

efecto de una formalización de las teorías físicas clásicas? *Problema en lugar de ése*: Elaborar e ilustrar el concepto de interpretación arbitraria esbozado en el texto.

8.3.10. Discutir la propuesta de que las primitivas de una teoría factual sean exclusivamente conceptos observables (y, por tanto, operacionalmente “definibles”), lo cual asegura para los axiomas la naturaleza de enunciados de observación. Cf. H. Simon, “Definable Terms and Primitives in Axiom Systems”, en L. Henkin, P. Suppes y A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1959. *Problema en lugar de ése*: ¿Puede estar la elección de las primitivas influida por ideas filosóficas?

8.4. REFERENCIA Y EVIDENCIA

Una teoría formal es un sistema autocontenido, en el sentido de que ni su significación ni su verdad, si las tiene, dependen de nada externo al sistema —salvo, acaso, de sus presupuestos, que son también formales. En cambio, una teoría factual se supone —al menos— que da razón, en primera aproximación, de algún aspecto de la realidad. La medida en la cual la teoría tiene éxito o fracasa en el intento de representar su objeto se examina de varios modos, entre los cuales destacan la concordancia con la observación y el experimento. Dicho de otro modo: una teoría factual *refiere* a algún sector de la realidad, y la adecuación de esta referencia (o sea, el grado de verdad de la teoría) se *contrasta* por la experiencia junto con ciertos criterios no-empíricos, como la existencia externa. Una teoría factual tiene, pues, que considerarse referencial y evidencialmente. Filosofías enteras se han fundado sobre la base de una indistinción en esos dos aspectos.

Referencialmente (semánticamente) considerada, una teoría factual apunta de modo inmediato a una imagen conceptual o a un modelo teórico que se supone a su vez referente a un sistema real. Así, un modelo ideal de un cristal es un conjunto de partículas a distancias iguales y enlazadas por un hilo elástico sin masa (cf. fig. 8.10); y un modelo grosero de la ecología de un pez comedor de algas es un ecosistema de dos componentes (presa-cazador) despreciando cualquier otro factor.

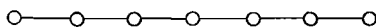


FIGURA 8.10. Modelo unidimensional de un cristal. Las líneas representan fuerzas elásticas.

Evidencialmente (metodológicamente) considerada, la misma teoría alude indirectamente a un conjunto de hechos observados (la evidencia disponible), y, de un modo mediano, a una clase más amplia de hechos observables (cf. fig. 8.11). Los correlatos mediatos o reales de una teoría no tienen por qué ser directamente observables; y no lo son nunca si la teoría es lo suficientemente profunda.

Por ejemplo, el *referente inmediato* de la dinámica de las partículas es un conjunto de puntos de masa; el punto de masa es un concepto teórico que puede, a su vez, considerarse como imagen conceptual, por ejemplo, de un planeta distante, el cual es a su vez uno del número ilimitado de *referentes mediatos* de la dinámica de las partículas. Los

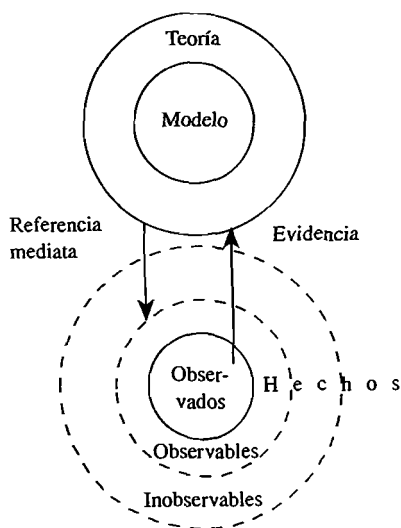


FIGURA 8.11. Relación de la teoría con la realidad y la experiencia. Los hechos experienciales (observados y observables) se incluyen en el conjunto, más amplio de los hechos. Mientras que la teoría refiere mediatamente a este amplio conjunto, sólo el subconjunto de los hechos experienciales le da apoyo evidencial. La referencia inmediata de la teoría a su propio modelo ideal no se indica en el diagrama.

informes acerca del movimiento del planeta constituyen una parte de la evidencia de la dinámica de las partículas, y todo informe de esta clase que se consiga en el futuro es experiencia posible. En este caso el referente mediato de la teoría resulta ser observable; pero una molécula, que es otro correlato posible de la dinámica de las partículas, no es observable. Por su parte, los correlatos inmediatos de la teoría atómica son átomos teóricos, o sea, imágenes conceptuales (intuibles o no) de átomos reales, los cuales son a su vez los correlatos mediatos de la teoría. El apoyo evidencial de la teoría atómica no consta de informes acerca del comportamiento atómico —que difícilmente existirán—, sino de informes acerca de hechos molares que, según la teoría, son efecto de acontecimientos microscópicos. Análogamente, la paleontología refiere de modo inmediato a reconstrucciones hipotéticas de animales extinguidos, y esos modelos se refieren a su vez a animales extinguidos reales, pero no directamente conocidos. Y el apoyo evidencial de la paleontología no consiste en informes acerca de animales extinguidos —informes que no existen—, sino en informes acerca de sus restos (generalmente, huesos fósiles) y huellas, esos datos son los que las teorías paleontológicas intentan interpretar (explicar).

Las evidencias de una teoría son en general diferentes de las descripciones de los correlatos de la teoría. Pues los correlatos mediatos de una teoría se suponen existentes con independencia de la teoría (cosa que no vale respecto del correlato inmediato, o modelo teórico); este supuesto, desde luego, puede ser falso, como tan a menudo ocurre en las teorías de partículas “elementales”; pero el supuesto de la existencia independiente se hace siempre, aunque no sea más que por mérito de la cuestión. Por otro lado, no hay evidencia sin teoría, es decir, no puede haber o dejar de haber evidencia más que en favor o en contra de alguna teoría. La teoría misma lo determina —generalmente con la ayuda de otras teorías—, porque los informes de observación (datos) tienen que interpretarse en lenguaje teórico para poder convertirse en evidencias. Las evidencias no nacen, se hacen: sólo

una teoría puede transformar un dato en una evidencia, por ejemplo, un hueso fósil en una evidencia relevante para una teoría sobre la filogénesis humana.

He aquí una buena manera de resumir lo anterior. Las fórmulas teoréticas se leen a base de reglas de interpretación de dos clases: referenciales y evidenciales. A una teoría factual se le atribuye una *significación* (nuclear) mediante un conjunto de *reglas referenciales de interpretación* (RIR) que establecen una correspondencia entre algunos de los signos de la teoría y sus correlatos. Ahora bien, puesto que el correlato inmediato de la teoría es un modelo idealizado de una clase de correlatos concretos (el correlato mediató de la teoría, que se supone existe fuera de ella), habrá dos clases de reglas referenciales de interpretación: (i) las reglas del tipo I establecerán correspondencias entre conceptos y rasgos no-formales del modelo de la teoría (rasgos que siguen siendo conceptos y no cosas o propiedades reales); (ii) las reglas del tipo II establecerán correspondencias entre rasgos del modelo teorético y rasgos del correlato supuesto real de la teoría. Por ejemplo, la mecánica contiene el concepto de sistema o marco de referencia, al que se hace corresponder un cuerpo rígido dotado de ciertas propiedades cinemáticas. Pero como en realidad no hay cuerpos rígidos, tenemos que contentarnos con cuerpos semi-rígidos a título de materializaciones (análogos físicos) del concepto de sistema de referencia.

Las reglas referenciales de interpretación, sean de la primera o de la segunda clase, son necesarias para asegurar la significación de la teoría, pero no son suficientes para garantizar su contrastabilidad. En realidad, la teoría puede perfectamente referir a acontecimientos que sea imposible observar incluso indirectamente. La contrastabilidad de una teoría se posibilita (aunque no se asegura) mediante un conjunto de *indicadores* o *reglas evidenciales de interpretación* (RIE), las cuales enlazan términos de bajo nivel de la teoría con entidades y rasgos observables (como cuerpos semi-rígidos visibles), así como con expedientes de observación y medición y correspondientes operaciones. Esas reglas evidenciales de interpretación no suelen contarse entre las fórmulas de la teoría porque no sólo dependen de ella, sino también de los medios de contrastabilidad de que se disponga. En la fig. 8.12 se representan las varias clases de reglas de interpretación.

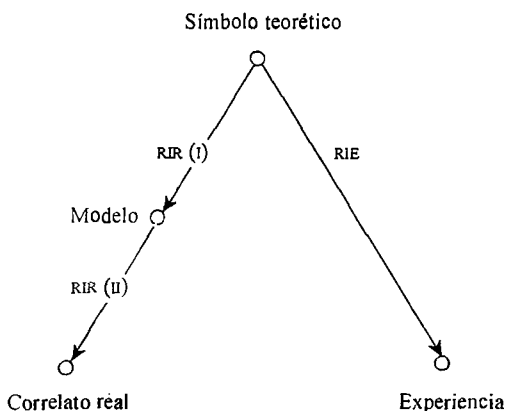


FIGURA 8.12. Reglas de interpretación RIR(I): reglas referenciales de interpretación del tipo I; ejemplo: "x" designa la posición de un punto de masa". RIR(II): reglas referenciales de interpretación del tipo II; ejemplo: "El punto de masa es el modelo ideal de un planeta lejano". RIE: reglas evidenciales de interpretación; ejemplo: "Una mancha de luz no centelleante y situada en el cielo es un planeta."

Para evitar ciertos equívocos y errores de comprensión hay que distinguir y estimar la referencia y la evidencia. De hecho, el desprecio de la referencia y la concentración de la atención sobre la evidencia puede llevar al subjetivismo a través de un empirismo estrecho; y el olvido de la naturaleza sumamente indirecta de casi toda evidencia, así como de la idealización que supone todo modelo teórico, da lugar a lo que puede llamarse el especulismo ingenuo, la idea de que las teorías son imágenes especulares de la realidad. En ambos casos se yerra el punto capital de la teorización, que es la representación conceptual y contrastable de la realidad.

Bastantes filósofos imaginan que, concentrando la atención sobre la contrastación de las teorías, pueden eludir la referencia objetiva de éstas; pero la contrastación presupone realidad objetiva que puede no estar presupuesta por la teoría misma. Efectivamente: salvo en el caso de teorías de bajo nivel, sabemos desde el primer momento que nuestras teorías tratan de idealizaciones (modelos), como personas intercomunicadas al azar, o cuerpos en movimiento libre. Sólo la contrastación y la aplicación de una teoría presuponen la existencia real del correlato de ésta. Si decimos 'El gas G satisface aproximadamente la ecuación de Van der Waals', establecemos una relación entre una entidad que es real para el experimentador (a saber, un miembro del conjunto G) y un objeto que es ideal tanto desde el punto de vista del experimentador cuanto desde el del teórico. (Es un objeto ideal, pero no enteramente *ficticio*: no es una creación arbitraria y sin objeto de la mente humana, sino el resultado de un esfuerzo imaginativo deliberado por representar un objeto real.) Si las contrastaciones empíricas no presupusieran realidad objetiva no serían empíricas: bastaría el cálculo, o hasta la mera contemplación.

Análogamente, una teoría de electrones no presupone la realidad del modelo teórico implicado, sino la existencia de ciertas cosas, en gran parte desconocidas, llamadas electrones, que plantean el problema de construir teorías sobre ellos cada vez mejores. No tendría interés el construir y perfeccionar las teorías sobre los electrones si no creyéramos que hay en la naturaleza ciertas entidades de las que dan razón, groseramente al menos, esas teorías. Es claro que esa hipótesis de existencia puede ser falsa; pero esta posibilidad no elimina el supuesto y, además, la única manera de mostrar que no hay electrones consiste en refutar toda teoría concebible sobre ellos.

La hipótesis de que las teorías sobre electrones tienen un correlato del que se supone es real no implica que se haya empezado por descubrir electrones y luego se hayan desarrollado teorías sobre ellos para resumir y sistematizar la evidencia: los electrones no son objetos observados, sino inferidos. Y esto, a su vez, no implica que los electrones sean inventados en vez de descubiertos: implica que el descubrimiento del electrón ha sido un resultado del experimento y la hipótesis juntos. Lo primero descubierto fue un conjunto de hechos observables, entonces se inventó una hipótesis para explicar los hechos conocidos; luego se descubrió el hecho nuevo de que la hipótesis del electrón satisfacía alguna de las contrastaciones; y esto a su vez determinó la expansión de la hipótesis del electrón hasta conseguir una teoría capaz de unificar las piezas de conocimiento hasta entonces sueltas. Desde entonces se han propuesto varias teorías sobre los electrones, y todas ellas tienen el mismo correlato mediato (el electrón), del que dan imágenes diferentes, cada vez más afinadas y complejas (cf. fig. 8.13).

La primera teoría del electrón se construyó con la ayuda de la mecánica clásica y de

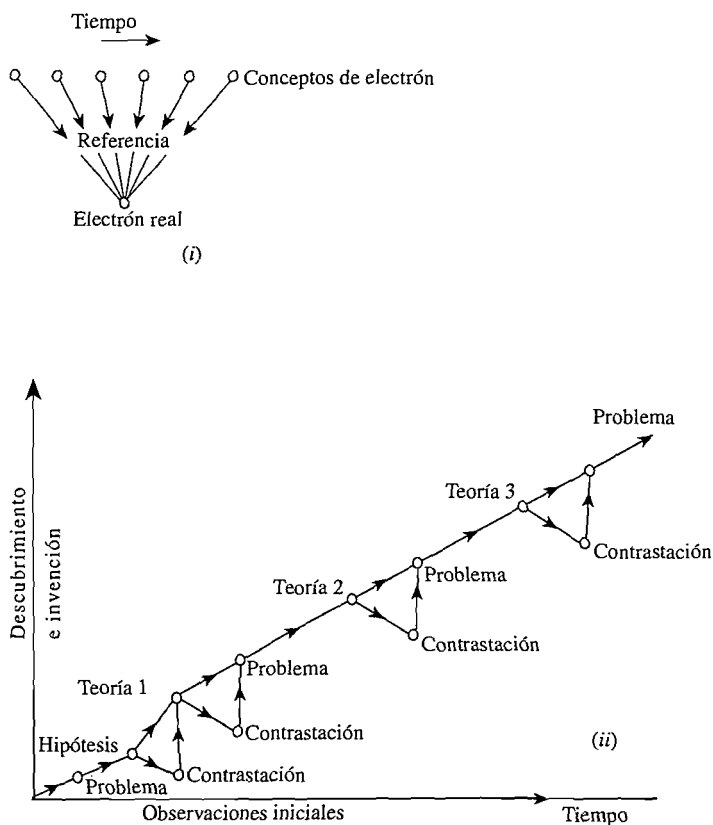


FIGURA 8.13. (i) Las teorías sobre electrones construyen un correlato inmediato (modelo teórico) cada una, pero todos esos modelos tienen un solo correlato real. (ii) Construcción y rectificación de sucesivas teorías sobre los electrones.

la teoría electromagnética clásica; aunque suponía un modelo muy rudo del electrón (la esfera débilmente cargada), dio de sí éxitos asombrosos. Al final se vio que era insatisfactoria tanto desde el punto de vista de la evidencia experimental cuanto a la luz de un marco de teoría física más amplio: por ejemplo, no explicaba correctamente la división de las líneas espectrales de la luz emitida por electrones atómicos incluidos en un campo magnético (inadecuación empírica), ni explicaba qué era lo que podía contrapesar la repulsión electrostática de las partes del electrón (inconsistencia). Al principio se rectificó la teoría clásica para superar esos defectos empíricos y teóricos; pero con el descubrimiento (anticipado por la teoría) de las propiedades ondulatorias de las “partículas” se presentaron nuevas teorías del electrón que recogían algunos rasgos de la antigua. De acuerdo con la mayoría de esas teorías nuevas, el electrón tiene no sólo una masa y una carga y se comporta más o menos como un tren de ondas, sino que posee además una ro-

tación intrínseca no-clásica (spin). Posteriormente nuevos desarrollos teóricos (la electrodinámica cuántica) y nuevas observaciones facilitaron la corrección de la teoría más precisa y completa de este nuevo tipo (la de Dirac). Pero hay indicios de que tampoco estas últimas reformas van a ser de efectos duraderos —e incluso que no habrá ninguna reforma definitiva.

Tres rasgos de ese proceso deben llamarnos la atención. Primero: la misma observación plantea el problema de construir teorías, y somete a éstas a contrastación, pero las teorías no se “abstraen” ni “infieren” de informes de observación, ya por el mero hecho de que éstos, las evidencias, pueden no referirse a las mismas cosas a que refieren las teorías, del mismo modo que una mirada puede sugerir el amor sin serlo. Segundo: no hay razón para suponer que el proceso de adaptación de la teoría a los hechos se consumará nunca —a menos, desde luego, que la humanidad deje de pensar. Toda teoría de cualquier objeto concreto dado *omite* algunas de sus características y *añade* ideas que no tienen contrapartida objetiva. En cualquier caso, jamás hay una correspondencia biunívoca entre los componentes de una teoría y las partes y aspectos del correlato mediato de la teoría: la correspondencia entre la teoría y el hecho es *global*, no puntual; la teoría en su conjunto *corresponde*, de un modo más o menos imperfecto, al objeto en su conjunto, y, además, el conjunto de hechos al que refiere la teoría puede no tener nada en común con el conjunto de fenómenos que sirven para contrastarla empíricamente. (El conjunto de todos los fenómenos no es más que un subconjunto propio de la clase de todos los hechos, pero el conjunto de los hechos experienciables relevantes para una teoría dada puede no-ser un subconjunto de la clase de los hechos a que se refiere la teoría.) Tercero: generalmente la nueva teoría no suprime enteramente las teorías posteriores, sino que conserva algunos de sus componentes —conceptos o incluso hipótesis enteras— en forma más o menos modificada.

Las teorías no se “infieren” a partir de los datos, pero los datos son la contrastación de las teorías a través de ciertas inferencias que muy a menudo suponen otras teorías más, tantas cuantas sean necesarias para salvar el hiato entre la referencia de la teoría y su evidencia. El problema de la contrastación empírica de una teoría factual es: Dado un conjunto de predicciones teóricas y un conjunto de datos empíricos, *inferir* (“concluir”) si los dos conjuntos casan o no. Echemos ahora un vistazo a este problema; su consideración detallada nos ocupará en el capítulo 15.

Las teorías —con la posible excepción de las teorías psicológicas de la observación— no tienen *contenido observacional*: tratan de un modelo ideal que frecuentemente es una representación alegórica o simbólica del referente mediato de la teoría, y pocas veces una representación literal o icónica del mismo. Consiguientemente, las teorías no pueden compararse directamente con los datos observacionales. Antes de poder comparar un conjunto de predicciones teóricas con un informe empírico, tenemos que *hacerlos comparables* formulando ambos en un mismo lenguaje. (Esto se hizo en la sec. 8.1 a propósito de la técnica de demolición de teorías.) A primera vista hay dos modos de conseguir ese objetivo; o bien traducimos las predicciones teóricas a un lenguaje observacional o, a la inversa, traducimos los hallazgos empíricos al lenguaje de la teoría. De hecho, las dos transformaciones se realizan a la vez: los datos empíricos en bruto se *interpretan* directamente por términos teóricos y las predicciones teóricas se *interpretan* por términos

semi-empíricos, de modo que unos y otras, datos y predicciones, se encuentren a un determinado nivel, a mitad de camino entre la rarificada atmósfera de las construcciones y la oprimiente atmósfera de los conceptos empíricos.

Por ejemplo: al usar un péndulo (junto con la mecánica racional) para inferir la intensidad de la gravedad o para registrar ondas sísmicas, la longitud medida del péndulo se considera como un valor aproximado de la distancia entre el centro de masa del bulbo (que es un concepto teórico) y el “punto” de suspensión (otro concepto teórico). No empezamos por formular una frase de lenguaje ordinario hecha con términos fenomenológicos, para traducirla luego por una frase con términos teóricos, sino que empezamos ya con sentencias que contienen a la vez términos teóricos y términos empíricos, como, por ejemplo: ‘El valor medido de la distancia entre el punto de suspensión y el centro de masa del bulbo es igual a 100 cm con el error del 1%. En general, los procedimientos empíricos de la ciencia, como la medición, no son nunca *puramente* empíricos, sino que van mezclados con fragmentos de teorías, factuales y formales, y por esta razón pueden ser relevantes para la teoría que se está sometiendo a contrastación. Por otro lado, un informe acerca de lo que siente o percibe el experimentador mientras ejecuta el experimento —o sea un informe estrictamente fenomenalista— será irrelevante para la teoría y, por tanto, inútil para contrastarla.

La sismología, el estudio de las perturbaciones elásticas del planeta Tierra, ofrece una bonita ilustración de la intrincación de elementos empíricos y elementos teóricos en la práctica real de la ciencia. La hipótesis sustantiva central de la sismología es que los terremotos y las perturbaciones menores producen ondas sonoras que se propagan por el interior y por la superficie del planeta. Y la hipótesis estratégica (metodológica) central es que el análisis de esas ondas puede suministrar información acerca de la localización y la intensidad del origen de las perturbaciones. A base de esas hipótesis y con la ayuda de otras ramas de la física se construyen sismógrafos y se manejan para detectar, amplificar y registrar ondas sísmicas. Esos informes o registros (sismogramas) constituyen el principal material de observación de la sismología (cf. fig. 8.14 (ii)). Ahora bien: la tarea capital de la sismología no consiste en acumular sismogramas, sino en construir imáge-

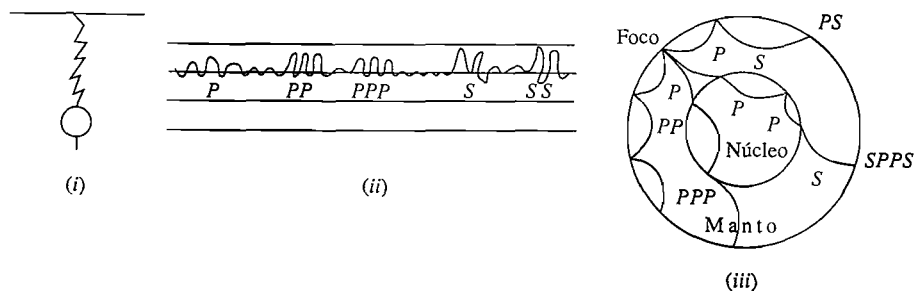


FIGURA 8.14. (i) La esencia de un sismógrafo mecánico: un péndulo, indicador de ondas sísmicas. (ii) La evidencia sismológica: un sismograma. (iii) Un modelo de la estructura de la Tierra y de las trayectorias de las ondas en su interior; obsérvense las reflexiones en la superficie de la Tierra y las refracciones en los límites del núcleo. Todo en las figuras está burdamente simplificado.

nes conceptuales del interior inobservado de la Tierra, sus varios niveles y vacíos, así como de las ondas que lo atraviesan. Los sismogramas son fuentes de observación y medios de contrastación de las hipótesis geofísicas, en la medida en que pueden interpretarse.

La interpretación de los registros de terremotos (la evidencia sismológica) se hace en base a (i) la teoría de la elasticidad, y, particularmente, del movimiento ondulatorio en medios elásticos; (ii) la teoría del sismógrafo (el detector, amplificador y registrador de las ondas), y (iii) un modelo de la estructura de la Tierra (núcleo, manto, superficie, con sus estratos respectivos), modelo que, junto con (i), suministra una imagen de los posibles caminos de las ondas y que se basa parcialmente en datos sismológicos. Sobre este fundamento se “leen” los sismogramas, se transforman de datos en evidencia. Así, las primeras ondas, llamadas ondas *P*, se interpretan como ondas longitudinales porque la teoría sugiere (y las mediciones de laboratorio lo confirman) que las ondas longitudinales viajan más rápidamente. El siguiente grupo de ondas se interpreta como un conjunto de ondas *P* simple y doblemente reflejadas. Un momento después llega un grupo de ondas *S*, que se interpretan como ondas transversales porque la teoría no “permite” que éstas lleguen sino después de las ondas más rápidas, *P*. Y así sucesivamente (cf. fig. 8.14 (ii) y (iii)). Es, desde luego, posible —en el laboratorio más que sobre el terreno— someter independientemente a prueba los resultados teóricos según los cuales en un medio elástico una perturbación viajará como onda longitudinal o como onda transversal, y la primera es más rápida que la segunda. También puede someterse a contrastación la hipótesis de que el intervalo *S-P* es un índice de la distancia del epicentro a la estación registradora. En conclusión: para poder “leer” un sismograma de modo que pueda convertirse en un conjunto de datos relativos a un acontecimiento (por ejemplo, a un terremoto) o en una evidencia relevante para una teoría (por ejemplo, acerca de la estructura interna de nuestro planeta), el sismólogo utiliza la teoría de la elasticidad y todas las teorías que intervengan en el trazado y la interpretación del sismógrafo y el sismograma. El físico nuclear, el químico y el fisiólogo, etc., proceden del mismo modo.

Pasemos, pues, a conclusiones generales: (i) los datos utilizados para contrastar teorías no se *recogen*, sino que se *producen* con la ayuda de la misma teoría y/o de otras; (ii) las teorías, supuestas en la interpretación de los hechos observados como evidencia reconstruyen (hipotéticamente) la *entera cadena* que está entre el hecho-referencia y el hecho-evidencia, entre el resfriado y el estornudo, entre la amistad y el apretón de manos. Compárese esa situación con la corriente explicación de la contrastación de teorías como una comparación de datos en bruto (sin interpretar) con predicciones teóricas. Esa explicación presupone falsamente que los datos se buscan y recogen por la experiencia ordinaria, más o menos como las setas: que la experiencia se lee (conceptualiza) directamente sin la ayuda de la teoría. Pero en la ciencia no hay experiencias neutrales: toda evidencia se produce a la luz de alguna teoría (generalmente, a la luz de un conjunto de fragmentos de teorías) y es relevante para alguna teoría.

En el mejor de los casos, un dato puede ser neutral respecto de la Teoría *T1* que se esté sometiendo a contrastación; pero entonces estará relacionado de un modo u otro con una segunda teoría *T2* usada para planear la observación, diseñar los instrumentos o interpretar los resultados, de la observación. *T2*, que en otros contextos será una teoría sustantiva, tiene aquí un papel instrumental (cf. fig. 8.15). Por ejemplo: la huella visible

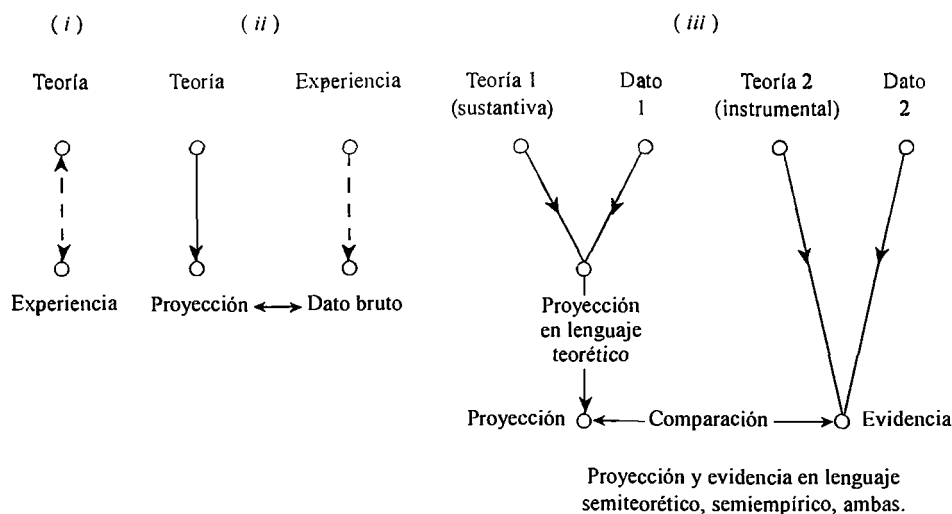


FIGURA 8.15. Propositiones empíricas y proposiciones teóricas. (i) La *visión ingenua*: la teoría se infiere de los datos y suministra datos. (ii) La *visión académica*: la experiencia suministra datos en bruto que se comparan con proyecciones teóricas. (iii) El *procedimiento real*: la evidencia no se recoge imparcialmente, sino que se produce con la ayuda de la teoría, y las proyecciones teóricas se traducen a un lenguaje semiempírico.

de una partícula ionizadora en una placa fotográfica será una evidencia relevante para la teoría *T1*, referente al comportamiento (por ejemplo, el modo de destrucción) de las partículas ionizadoras de una clase dada, a condición de que otra teoría diferente, *T2*, explique la huella mediante propios supuestos acerca del paso de partículas ionizadoras por la materia. Y un documento referente al trabajo de los esclavos en la Antigüedad se hace una evidencia relevante para una teoría *T1* relativa a las relaciones sociales en la sociedad antigua si el documento puede interpretarse con la ayuda de alguna teoría económica *T2* referente a la función del trabajo de los esclavos en la sociedad antigua. (Dicho sea de paso: la enorme importancia de la interpretación ya para la mera selección del material histórico ha inducido a algunos historiadores al error de creer que la historia no puede ser objetiva, mientras que lo único correctamente inferible de esa circunstancia es que la historia, a diferencia de la crónica, no puede escribirse sin contar con ideas acerca del mecanismo de la acción humana.) La selección e interpretación de informes empíricos por medio de teorías es tan “natural” en algunos casos —especialmente en las ciencias del hombre— que fácilmente la pasamos por alto y creemos hacer una directa “lectura de hechos”. La intervención de la teoría es muy manifiesta cuando los hechos estudiados son inaccesibles a la experiencia —como ocurre en los casos de los hechos atómicos e históricos—, pero en realidad no falta nunca. Un dato ajeno a toda teoría no puede ser relevante para ninguna.

En cualquier caso: supongamos que nuestra teoría factual se ha comparado con un conjunto de datos empíricos. Tanto si por el momento la teoría concuerda con los datos

como si ya se registran desacuerdos, es inevitable que más pronto o más tarde se produzca evidencia desfavorable. ¿Qué conducta dicta esa circunstancia? ¿Habrá que rechazar pura y simplemente la teoría? No se rechazará si no se cuenta con otra más verdadera que haya previsto la nueva evidencia. Si no se tiene tal teoría más verdadera, el primer intento tenderá a recomponer la teoría, a salvarla mediante la introducción de adecuadas hipótesis *ad hoc*. Vimos en la sección 5.8 que las hipótesis *ad hoc* no tienen nada de malo mientras sean en principio contrastables; aún más: a veces una hipótesis *ad hoc*, lejos de ser un mero expediente temporal para aplacar la realidad, ha resultado ser el germen de una nueva teoría más rica. Tenemos una dramática, espectacular ilustración de esta clase de acontecimientos: la hipótesis del *quantum* (Planck), inicialmente pensada para superar la contradicción que había aparecido entre la física clásica y ciertos datos empíricos referentes al espectro de radiación en una cavidad vacía. Planck supuso que los osciladores causantes de la emisión y absorción de aquella radiación tendrían energías restringidas estrictamente a un número entero, medida de una cantidad básica de energía. (Fórmula del cuerpo negro, Planck.) Muchos críticos protestaron contra aquel *tour de force*, porque la cuantización de la energía era incoherente con la física clásica. La particularidad de la táctica seguida por Planck consistía en que no alteraba ningún postulado de las teorías físicas, pero corregía uno de sus teoremas. Si hubiera cambiado alguno de los postulados habría conseguido una nueva teoría unificada; con su procedimiento, en cambio, consiguió una teoría que era internamente inconsistente, pero, en cambio, estaba empíricamente confirmada. Otros físicos, descontentos por esa inconsistencia lógica, inventaron nuevas teorías que recogían la hipótesis de Planck sobre la cuantización de la energía ya en la base axiomática (la inicial teoría cuántica de Bohr), ya en algunos de los teoremas derivados de nuevos axiomas (las posteriores teorías de los *quanta*). En cualquier caso, la hipótesis *ad hoc* de Planck resultó verdadera y fecunda, rebasando con mucho las previsiones de su autor: y al quedar recogida en las nuevas teorías dejó de ser una hipótesis *ad hoc*.

En general, cuando una teoría falla, el primer intento que se hace consiste en practicar en ella pequeñas modificaciones, reajustando algunos de sus supuestos iniciales o añadiendo algunas hipótesis *ad hoc*, consistentes o no con las hipótesis anteriores. Sólo si también esas modificaciones son insuficientes para recoger toda la evidencia disponible, o si son incompatibles con el amor del científico por la consistencia, la unidad y belleza de la teoría, sólo en esos casos se intenta resolver la situación mediante teorías nuevas, hasta que alguna de ellas da en el blanco. Si además de resolver los problemas que la anterior teoría permitió plantear, pero no resolvió correctamente, la nueva teoría tiene un alcance más profundo que la anterior y produce repercusiones en teorías adyacentes, decimos que su introducción equivale a una revolución científica. Pero la profundidad de las teorías merece un estudio propio.

Problemas

8.4.1. A menudo se describen las teorías como si fueran meras *sistematizaciones de datos*. ¿Cómo es, entonces, que no se considera teorías a los catálogos, las tablas, los diagramas y las clasifica-

ciones sistemáticas? *Problema en lugar de ése*: Discutir el siguiente fragmento de *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872, de E. Mach, en la traducción inglesa de 1911, Chicago, Open Court, p. 57: "En la investigación de la naturaleza nos ocupamos siempre y exclusivamente de hallar las reglas mejores y más simples para la derivación de los fenómenos unos de otros [...] Podría creerse que mediante la teoría molecular fuera posible descubrir leyes de los fenómenos que no pueden percibirse en los fenómenos mismos. Pero no es ése el caso. En una teoría completa tienen que corresponder a todos los detalles del fenómeno detalles de la hipótesis, y todas las leyes sobre esas cosas hipotéticas tienen que ser directamente traducibles a los fenómenos. Pero las moléculas son entonces una mera metáfora sin valor." Sobre el punto de vista contrario, según el cual el objetivo del teorizar es la construcción de una imagen conceptual del mundo externo, cf. L. Boltzmann, *Populäre Schriften*, Leipzig, Barth, 1905, caps. 5 y 12.

8.4.2. Comentar la siguiente afirmación de E. Nagel, *Principles of the Theory of Probability*, en *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1939. § 6, p. 416: Las teorías "funcionan primariamente como medios para realizar transiciones desde un conjunto de enunciados a otros conjuntos, con el intento de controlar los cambios naturales y de suministrar predicciones susceptibles de comprobación mediante la manipulación de objetos directamente experienciables. Según eso, las teorías, en su uso efectivo en la ciencia, sirven como *instrumentos* en contextos específicos, y según esa función tienen que caracterizarse como buenas o malas, eficaces o ineficaces, y no como verdaderas, falsas o probables." Si las teorías no fueran más que instrumentos convenientes o sistemas de computación, ¿sería posible explicar por qué algunas de ellas son útiles y otras no lo son? ¿Y contendrían reglas de interpretación sin alcance operacional? Por ejemplo: ¿haría referencia la mecánica a puntos de masa, o más bien a operaciones con palancas y muelles?

8.4.3. La teoría de la decisión nos permite calcular el riesgo que conlleva la *aceptación de una hipótesis falsa* (o el rechazar una hipótesis verdadera). ¿Encaja la teoría de la decisión en la filosofía instrumentalista de la ciencia, que considera las hipótesis y las teorías aceptables (o inaceptables) y no verdaderas (o falsas)? *Problema en lugar de ése*: Explicitar la distinción entre el papel sustantivo y el papel instrumental desempeñado por las teorías.

8.4.4. H. Reichenbach y otros filósofos han sostenido que un científico que está intentando probar algo de algo (por ejemplo, de los canguros) no necesita suponer la existencia objetiva de esos objetos. Discutir la tesis. *Problema en lugar de ése*: Examinar la clase de evidencia relevante para cualquier teoría atómica.

8.4.5. Tomar cualquier teoría y explicitar sus reglas de interpretación. *Problema en lugar de ése*: Decidir si las "reglas de interpretación" son reglas o más bien hipótesis. Cf. M. Bunge, *Sense and Reference*, Dordrecht, Reidel, 1974.

8.4.6. Comentar la tesis de que el sistema heliostático de Copérnico y las varias teorías geostáticas de Ptolomeo eran equivalentes, o, simplemente, "dos modos de hablar". Cf. por ejemplo, J. Petzold, *Das Weltproblem von positivistischen Standpunkte aus*, Leipzig, Teubner, 1906, p. 37, y H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley y Los Ángeles, University of California Press, p. 107.

8.4.7. Examinar las siguientes opiniones sobre el alcance ontológico de las teorías científicas. (i) *Fenomenismo*: las teorías son sumarios o, a lo sumo, idealizaciones, de la experiencia. (ii) *Instrumentalismo* (convencionalismo y pragmatismo): las teorías son expedientes de previsión, por tanto, instrumentos para la acción. (iii) *Realismo ingenuo*: las teorías son representaciones directas de la realidad. (iv) *Realismo crítico*: las teorías son representaciones simbólicas y parciales de sistemas de rasgos de partes de la realidad. Cf. E. Nagel, *The Structure of Science*, Nueva York, Harcourt, Brace and World, 1961, cap. 6, y K. R. Popper, *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963, cap. 3.

8.4.8. El astrofísico y filósofo A. S. Eddington sostuvo que podía derivar datos empíricos con la sola ayuda de principios generales. ¿Es eso lógicamente posible, o sea, es posible deducir singulares a partir de lo general exclusivamente? Si no lo es, ¿qué suerte final tiene el *apriorismo* en la ciencia factual? ¿Y qué enseña eso sobre la relevancia de la lógica para la filosofía de la ciencia?

8.4.9. Analizar la argumentación de H. Poincaré en *La Science et l'Hypothèse*, en favor del *convencionalismo*. Hela aquí en sustancia: (i) Las teorías físicas son formulables matemáticamente. (ii) Los axiomas de toda teoría matemática se establecen por estipulación, y toda elección entre ellos es mero asunto de comodidad. (iii) Por tanto, los axiomas de toda teoría física pueden ser convenientes, pero no más verdaderos respecto de los hechos que los de cualquier otra teoría matemática. Recordar lo dicho en la sección 7.4.

8.4.10. Los restos fósiles de especies nuevas –por ejemplo, de grupos de transición– aparecen repentinamente, sin gradaciones. Esas discontinuidades en el registro de los fósiles se han considerado a veces como una evidencia contra el darwinismo y en favor de otras teorías, como la de la macroevolución. Examinar cómo los darwinistas explican la escasez o incluso la falta total de evidencia en favor de ciertos hechos a los que *refiere* la teoría. ¿Es coherente esa explicación con la idea de que las teorías son meras acumulaciones condensadas de datos? *Problema en lugar de ése*: Estudiar la siguiente *paradoja de la evidencia empírica*. Lo que da a una teoría alguna justificación empírica es un conjunto de datos. Pero los datos son evidencias en favor de una teoría exclusivamente en el caso de que puedan insertarse en ella de algún modo, o sea, si son en alguna medida aceptables para la teoría. Así, por ejemplo, la aceleración de una partícula en el vacío es evidencia en favor de las teorías del campo, pero es irrelevante para otras teorías. Así, pues, la confirmación empírica parece circular. ¿Lo es efectivamente? En caso de que lo sea, ¿podemos saltar fuera de ese círculo?

8.5. PROFUNDIDAD

Las teorías ondulatorias de la luz son más profundas que la óptica del rayo rectilíneo y las teorías del comportamiento que se basan en la noción de reflejo son más profundas que las basadas en la noción estímulo-respuesta. Pues la teoría del rayo rectilíneo no estudia la naturaleza del rayo de luz ni se pregunta por el mecanismo de la reflexión y la refracción de la luz, mientras que las teorías ondulatorias explican, entre otras cosas, cómo se forman los rayos de luz (a saber, por interferencia de ondas). Y consiguen eso mediante la hipótesis de un “mecanismo” de propagación e interferencia, descrito con la ayuda de construcciones de nivel alto, como “amplitud”, “longitud de onda” y “fase”. Análogamente, las teorías del comportamiento basadas en la idea de reflejo intentan explicar precisamente las asociaciones que la teoría puramente conductista se contenta con registrar. Y lo consiguen introduciendo conceptos no-observacionales (construcciones hipotéticas) como “arco reflejo”, “excitación” e “inhibición”.

Las teorías científicas de cualquier campo pueden ordenarse respecto de la profundidad. Por ejemplo, podemos construir las siguientes ordenaciones en serie interpretando ‘>’ como la relación “más profunda que”:

Óptica cuántica > óptica electromagnética > óptica ondulatoria > óptica del rayo luminoso.

Mecánica cuántica relativista > mecánica cuántica no relativista > dinámica clásica > cinemática clásica.

Mecánica estadística sin equilibrio > mecánica estadística del equilibrio > termodinámica clásica > teoría elemental del calor.

Teoría de los mecanismos de reacción > cinética química clásica.

Teoría sintética de la evolución > teoría de la evolución según Darwin > teorías evolucionistas pre-darwinistas.

La profundidad de una teoría depende de la profundidad de los *problemas* que intenta resolver: cuanto más profundos son los problemas que consigue resolver, tanto más profunda es la teoría. Tomemos, por ejemplo, el problema de la migración de las aves. Podemos preguntarnos cuáles son realmente las rutas de migración de las varias especies, o bien, dando un paso más, preguntarnos cómo eligen las aves la dirección correcta para alcanzar su meta y cómo conservan la dirección durante el vuelo. La primera cuestión requiere una descripción empírica, pero la última exige una teoría, y una teoría profunda, que estudie el posible “mecanismo” de elección y mantenimiento de la dirección de vuelo. Se han propuesto una serie de “mecanismos”, como la guía mediante el campo magnético de la tierra, o por la luz solar. Todas esas teorías de la navegación de las aves, sean verdaderas o falsas, son teorías profundas que rebasan las apariencias y analizan la acción de ciertos estímulos físicos en los órganos de los sentidos de las aves: no se limitan a describir ciertos esquemas de comportamiento (por ejemplo, la formación del hábito migratorio), sino que intentan descubrir su “mecanismo”. Teorías aún más profundas se necesitan en este campo, teorías que tomen en cuenta la componente innata de la orientación de las aves y la expliquen al nivel de la biología celular (codificación de la información genética).

Las teorías más profundas son las más *específicas* y, por tanto, las más informativas. Como consecuencia de esa mayor determinación o compromiso, son también las mejor contrastables; y, por ser mejor contrastables, son más aptas para adquirir y para perder una buena fundamentación empírica: o sea, el conjunto de los datos relevantes para ellas es más vario y, por tanto, aumenta la probabilidad de que surja evidencia desfavorable. Piénsese en la teoría electromagnética clásica para la explicación de la acción a corta distancia (teoría de Faraday-Maxwell); entre otras cosas, esa teoría predecía la existencia de ondas electromagnéticas —hazaña que rebasaba la capacidad de las teorías de la acción a distancia, las cuales se desentendían de las relaciones entre puntos próximos en un continuo, única cosa que puede dar origen a una ondulación viajera. O piénsese en la teoría darwinista de la evolución, que no se limitó a afirmar que las especies evolucionaban —hipótesis sostenida por varias personas antes de Darwin—, sino que propuso un mecanismo determinado (variación espontánea más selección natural) cuya existencia podía someterse a contrastación, por ejemplo, mediante la selección artificial. A su vez, la teoría contemporánea de la evolución, o teoría sintética, es más profunda que la de Darwin porque explica las variaciones basándose en la genética —como resultado de mutaciones genéticas y cromosómicas—, mientras que Darwin tomaba las variaciones como datos. También la teoría de Lamarck, o teoría del medio ambiente, contenía mecanismos supuestamente responsables de la evolución, como atrofia de los órganos en desuso, la

herencia de los caracteres adquiridos y la tendencia intrínseca al perfeccionamiento. Pero esas hipótesis no consiguen explicar cómo se imprimirían los cambios del organismo individual durante su vida en las células reproductoras del mismo, de tal modo que éstas pudieran transmitir la información a la descendencia. Por eso, y completamente aparte de la verdad o hasta de la contrastabilidad de la teoría de Lamarck, la de Darwin era más profunda.

La profundidad de las teorías puede caracterizarse por la posesión de tres atributos: la presencia de *construcciones de nivel alto*, la presencia de un “*mecanismo*” y una *intensa capacidad de explicación*. Las tres propiedades están íntimamente vinculadas: sólo introduciendo conceptos de alto nivel (trasempíricos) pueden formularse hipótesis sobre “*mecanismos*” inobservables, y sólo lo que por hipótesis ocurre en las profundidades puede explicar lo que se observa en la superficie. Formulamos esta idea en la siguiente *Definición*: Una teoría *T* 1 es *más profunda* que una teoría *T* 2 si y sólo si (i) *T* 1 contiene construcciones de nivel más alto (inobservables) que *T* 2 (aspecto epistemológico); (ii) esas construcciones se presentan en “*mecanismos*” hipotéticos subyacentes a los hechos a que refiere *T* 2 (aspecto ontológico); y (iii) *T* 1 explica lógicamente *T* 2, o sea, $T1 \vdash T2$ (aspecto lógico).

Como las teorías menos profundas son las más próximas a los fenómenos, se llaman a menudo *fenomenológicas*. En cambio, las teorías que sientan la hipótesis de “*mecanismos*” determinados, observables o no, pueden llamarse *representacionales*. Si tales mecanismos son mecánicos en sentido estricto, entonces la teoría será *mecanicista*. Si invocan mecanismos no mecánicos, se las podrá llamar *mecánicas*. Pero todo eso son meros extremos: entre ellos se encuentra toda una serie de teorías *semifenomenológicas* y *semirrepresentacionales*.

El adjetivo ‘fenomenológico’ conduce a error en este contexto porque acarrea la idea de que las teorías menos profundas son estrictamente descriptivas de los fenómenos y no tienen capacidad explicativa. Pero ninguna teoría propiamente dicha es puramente descriptiva: si carece de proposiciones a partir de las cuales puedan deducirse proposiciones descriptivas no es una teoría; y las proposiciones fuertes a partir de las cuales se derivan las descripciones no tienen en general los mismos referentes que estas últimas: mientras que las primeras pueden referir a hechos inobservados, las últimas refieren a hechos observados, por lo que la derivación puede requerir la ayuda de teorías adicionales (cf. sec. 8.4). Las teorías fenomenológicas no satisfacen, pues, la exigencia de la filosofía fenomenista, según la cual hay que evitar los conceptos trasempíricos porque carecen de significación. Y las teorías fenomenológicas están incluso más lejos de satisfacer el requisito de empleo exclusivo de los datos sensibles: hasta las teorías psicológicas, si son científicas, se construyen con elementos objetivos, y no con lo que aparece al sujeto (los “fenómenos” de los filósofos); pueden referir a elementos subjetivos —si son teorías psicológicas—, pero sólo en la medida en que éstos son objetivables para el investigador, el cual intentará explicarlos de un modo no fenomenista. Por esa y otras razones, el nombre de *teoría de caja negra* parece preferible al de ‘teoría fenomenológica’.

Una teoría del tipo “caja negra” trata su objeto o tema como si fuera un sistema desprovisto de estructura interna: atiende al comportamiento del sistema y lo trata como una unidad simple (cf. sec. 5.4). Una teoría del tipo de la caja negra da razón del comporta-

miento general basándose en relaciones entre variables globales, como causas netas (*inputs*) y efectos netos (*outputs*); unas y otros quedan mediados por variables

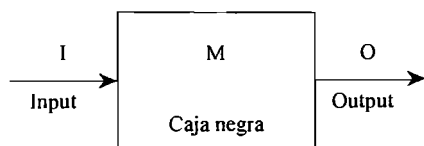


FIGURA 8.16. Un teoría del tipo de la caja negra considera su correlato como un bloque desprovisto de estructura. Su comportamiento general se explica mediante variables periféricas *I* y *O*, vinculadas posiblemente por variables auxiliares.

intervinientes que carecen de referente (cf. fig. 8.16).

La caja negra se parece al informe anual que el presidente de una sociedad expone a los accionistas: las teorías de este tipo y el informe hablan de ingresos y gastos, de ganancias netas y pérdidas netas, y hasta de tendencias generales; pero no explican los *procesos* en acto (en la compañía o en la caja).

Una teoría de este tipo de la caja negra puede esquematizarse estructuralmente por la siguiente ecuación que relaciona el *input* o factor *I* con el *output* o producto *O*:

$$O = MI \quad [8.12]$$

en la que *M* (variable, operador o función) *media* o *interviene* entre las variables externas *I* y *O*; si resulta ser una función, *M* proyectará el conjunto de los valores de factores sobre el de los valores producto, o sea, $M : I \rightarrow O$. El símbolo mediador '*M*' resume las propiedades de la caja, pero en las teorías de este tipo *M* no se deriva basándose en esas propiedades: *M* es un vínculo puramente sintáctico entre una columna de valores de *I* y una columna de valores de *O* (o entre varias columnas, si *I* y *O* son conjuntos de variables). Sólo en el contexto de teorías representacionales, puede convertirse *M* en un símbolo complejo o variable derivativa referente a la constitución y estructura de la caja, o sea, llegar a representar el "*mecanismo*" que media entre el *input* y el *output*. Dicho de otro modo: *M* es una variable sin interpretar en la teoría del tipo de la caja negra, y se convierte en una variable interpretada (una construcción hipotética) en la correspondiente teoría traslúcida (representacional) que pueda absorber a la primera. No hará falta decir que *M* no representa necesariamente un mecanismo en sentido estricto, o sea, *mecánico*, ni tampoco un mecanismo *intuitivamente representable*. Y aunque *M* no tenga significación empírica u operacional (pues no representa ninguna propiedad manipulable), la teoría traslúcida le asignará un referente, a saber, un conjunto de variables internas que caractericen el interior de la caja. Dicho brevemente: mientras que en teorías del tipo de la caja negra el símbolo mediador *M* carece efectivamente de significación, en teorías que llamaremos del tipo de la caja traslúcida adquiere significación factual (aunque no operacional). (Cf. fig. 8.17.) El estatuto de una variable dada como variable interviniente o como construcción hipotética es por tanto relativo a la teoría en que se presente.

Una relación *input-output* no nos compromete a aceptar ningún mecanismo específico, pero sí que plantea el problema de formular hipotéticamente los posibles mecanismos que den razón de ella. (Si alguien se niega a explicitar un tal problema puede hacerlo

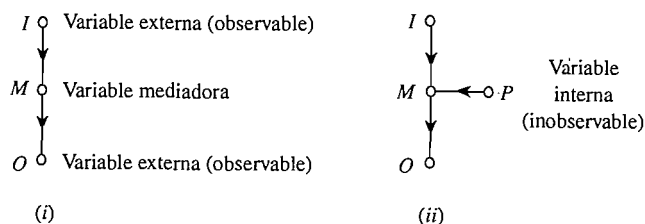


FIGURA 8.17. Los papeles de los símbolos mediadores, M , en (i) teorías del tipo de la caja negra, y (ii) teorías del tipo de la caja traslúcida. En (i) M es un vínculo sintáctico entre observables; en (ii) M deriva de variables internas P .

tranquilamente; pero no debe desanimar a otros en nombre de alguna tesis filosófica.) Tomemos el caso general dibujado en la figura 8.18, en el cual el producto general aumenta con los factores excepto en ciertos intervalos en los que parte del *input* queda absorbida por el sistema (átomo, persona, economía o lo que sea). Podemos decidir detenernos en este punto, o bien tomarlo como arranque de un nuevo ciclo de investigación, preguntándonos por el mecanismo de absorción: nuestra decisión dependerá íntimamente de lo dispuestos que estemos a trabajar y de nuestra visión filosófica general. Si no somos conductistas, procederemos a analizar el sistema (conceptual o empíricamente) en componentes menores, y nos preguntaremos por sus relaciones recíprocas: de este modo empezarán a surgir por debajo de la superficie posibles mecanismos. Un conocido caso de este tipo fue la explicación del experimento de Franck y Hertz sobre el bombardeo de un gas por un haz de partículas subatómicas: los mínimos de absorción registrados por los experimentadores se explicaron por la teoría atómica de Bohr como transferencias de energía de las partículas a los átomos del gas. Otro ejemplo de este tipo de análisis de los datos globales es el análisis *insumo-producto* de la economía de un país (W. Leontieff), en el cual se estudian las transacciones entre los diferentes sectores de la economía. En ambos casos se lleva a cabo un análisis de una caja negra en un sistema de cajas negras más pequeñas, y el análisis se acepta como parcialmente verdadero no por el mero hecho

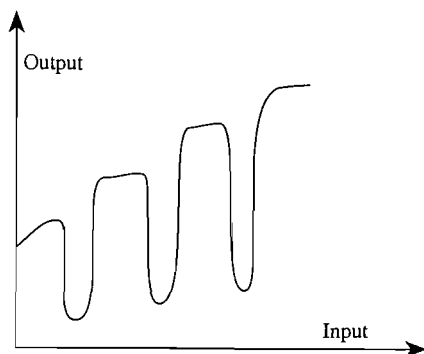


FIGURA 8.18. Una curva *input-output* que reclama una explicación de los mínimos de absorción.

de ser coherente con la relación general *input-output*, sino con la condición de que lo sea además con algunas de las leyes relevantes conocidas, y de que pueda predecir efectos imprevisibles de otro modo.

Las teorías del tipo de la caja negra dominan en el estadio de la construcción de teorías que puede calificarse de distribución de datos, o sea, el periodo en el cual se trata de *sistematizar* los datos más que de *interpretarlos*. Para completar el cuadro habrá que interpretar el símbolo mediador *M* como “mecanismo”, lo que obligará a su vez a introducir conceptos e hipótesis acerca de lo no observado, esto es, acerca del interior de la caja. Tomemos, por ejemplo, la ósmosis, proceso tan importante y manifiesto en la materia viva. El efecto neto de la ósmosis es el paso de líquido (agua, por ejemplo) a través de una membrana hacia una región de concentración más alta. Este efecto neto puede recogerse en una teoría del tipo caja negra sin más conceptos que los de concentración, presión y temperatura. Una teoría más profunda añadirá a esos conceptos un modelo de la difusión (proceso inobservable) de moléculas (entidades inobservables) a través de los poros (inobservables) de la membrana, y también posiblemente, un modelo de las reacciones químicas (inobservables) que ocurren a veces en la superficie de contacto. Una tal teoría más profunda es necesaria para explicar la ósmosis selectiva que tiene lugar a través de membranas vivas, proceso que hay que llegar a entender si se quiere mejorar la salud humana. ---

La mayor profundidad de las teorías mecanísticas explica por qué, con pocas excepciones, la tendencia general en la historia de la ciencia lleva a añadir a las cajas negras cajas traslúcidas. Esa suplementación de teorías superficiales por teorías profundas es gradual: eso que hemos llamado ‘caja traslúcida’ no es más que un manojo de cajas negras más pequeñas que hay que analizar a su vez sobre la base de cajas negras aún menores. Es discutible la cuestión de si ese proceso tiene un límite, un límite puesto por la naturaleza de las cosas (átomos materiales inanalizables). Actualmente parecen igualmente sostenibles ambas hipótesis, la que postula la existencia de átomos últimos (no analizables ulteriormente) y la que sostiene la complejidad ilimitada. Las diferencias entre ambas hipótesis son hoy por hoy de naturaleza puramente pragmática: la hipótesis de la complejidad ilimitada es a la vez menos intuitiva y más fecunda que la hipótesis de la atomicidad última: la primera mueve a buscar complejidad en los lugares en que no se ve, y engendra así problemas fecundos.

Pese a la mayor riqueza de las teorías mecanísticas, ha habido y sigue habiendo tenaces partidarios de las teorías fenomenológicas. Eso no se debe sólo a una determinada tendencia filosófica, que mueve a aferrarse a los datos empíricos y a desconfiar de la teoría. Las cajas negras tienen espaciales virtudes que explican por qué no se las *sustituye* por teorías del tipo de la caja traslúcida, sino que sólo se las *suplementa* con ellas. Las cajas negras tienen entre otras las siguientes propiedades:

Son:

1. *Muy generales*, en el sentido de que son coherentes con un número ilimitado de mecanismos específicos, y aplicables a sistemas de diferentes clases (recuérdese la teoría de la información);
2. *Globales* u holísticas: no prestan atención a detalles o interioridades, sino que atienden a los rasgos y tendencias generales (recuérdese la termodinámica);

3. *Epistemológicamente sencillas*, o sea, económicas en cuanto al uso de conceptos trascendentes o no-observacionales (recuérdense las teorías psicológicas *E-R*);

4. *Precisas*, pues ajustando y reajustando los valores de los parámetros (no todos los cuales tienen como referentes propiedades determinadas) pueden cubrir más datos que las teorías representacionales, cuyos parámetros no pueden reajustarse arbitrariamente porque se supone que representan propiedades objetivas (recordar las teorías cinéticas de la física nuclear);

5. *Seguras*: al no afirmar nada acerca de mecanismos, corren menos riesgos (recordar la teoría del circuito eléctrico).

Esas ventajas explican por qué seguimos utilizando, siempre que es posible, la óptica del rayo luminoso junto con la óptica ondulatoria, la termodinámica clásica junto con la mecánica estadística, etc., especialmente en la ciencia aplicada. Pero desde otro punto de vista esas ventajas son inconvenientes. En realidad, la generalidad en el sentido de falta de especificidad es simplemente una señal de que se ha despreciado la clase de sistema de que se trata; el carácter global, o no local, exige pagar el precio de la ignorancia sobre la estructura interna; la simplicidad en el sentido de ausencia de construcciones hipotéticas es señal de oscuridad conceptual y ontológica; y la seguridad resultante de no tomar compromisos detallados no tiene más valor que la sabiduría del taciturno. Esas propiedades explican por qué los tecnólogos sienten predilección por teorías del tipo de la caja negra; para las necesidades de la práctica, una teoría flexible, global, sencilla, reajutable y segura es preferible a una teoría más profunda, pero, por el hecho de serlo, más compleja y menos flexible. La preferencia del pragmatista por este tipo de teoría tiene la misma explicación, puesto que para el pragmatista no existe la ciencia pura, sino que toda pieza de conocimiento es meramente un instrumento para la acción.

Además de esas propiedades de dos caras, las teorías del tipo de la caja negra tienen las siguientes desventajas claras respecto de las teorías del tipo de la caja traslúcida:

1. *Escaso contenido*: son menos completas y precisas, que las correspondientes teorías representacionales; consiguientemente, tienen

2. *Menor contrastabilidad*—puesto que sus riesgos son escasos y prudentes—, y

3. *Escasa potencia heurística*, pues al no penetrar profundamente por debajo del nivel de las apariencias no pueden guiar la investigación en la exploración de las profundidades.

Desde el punto de vista metodológico, las teorías del tipo de la caja negra son muy estimables como *contrastadores* de las correspondientes teorías mecanísticas (las cuales, sin embargo, pueden descubrir en las otras inexactitudes pequeñas o hasta grandes). Desde el punto de vista pragmático son estimables porque suelen ser manejables, mientras que las teorías representacionales, al ser más complejas, son también más difíciles de manejar. Pero el progreso del conocimiento consiste en gran medida en practicar agujeros en cajas negras, o sea, en trascender el planteamiento fenomenológico que generalmente (aunque no siempre) es más adecuado para el estadio preliminar de la teorización y para la tecnología. La preferencia por las cajas traslúcidas respecto de las negras en el terreno de la ciencia pura no debe implicar la recusación de las teorías de aquel primer

tipo. Lo que hay que criticar, por ser una actitud oscurantista, es el “cajanegrismo”, o sea, la filosofía que exige la renuncia a las cajas traslúcidas (teorías representacionales) y nos impondría la destrucción de las secciones más adelantadas de la ciencia contemporánea. Esta filosofía goza del favor de personas de orientación práctica, las cuales conciben las teorías científicas como meros instrumentos para establecer relaciones económicas (en algún sentido) entre los datos. Este tipo de pragmatismo, interesado por las teorías científicas más como medios que como fines, es miope y autodestructor, porque cuanto más profunda es una teoría tanto más útil puede ser a la larga. Las teorías representacionales son en última instancia las más rentables, incluso prácticamente –aunque de un modo indirecto– porque ayudan a explicar *cómo funcionan las cosas*, y ese conocimiento puede ser necesario para mejorar nuestro dominio de ellas.

La anterior discusión sugiere que la construcción de teorías está siempre dominada por algún *planteamiento*. Un planteamiento puede caracterizarse como un modo amplio y no-específico de considerar un tema. Supone a la vez un punto de vista y un objetivo. (Así pues, la relación de planteamiento es de cuarto grado; *w* plantea *x* con el objetivo *y* según el punto de vista *z*.) El estudio de uno y el mismo conjunto de hechos puede plantearse de varias maneras. Así, por ejemplo, una caída espectacular de las cotizaciones bolsísticas puede plantearse por el economista con la intención de descubrir la situación de los defectos económicos del país, según el punto de vista de que los acontecimientos financieros reflejan estados económicos; el psicólogo social puede plantear el mismo acontecimiento para conseguir datos relevantes para la opinión de que las fluctuaciones de un mercado son producto de estimaciones subjetivas, difusión de rumores y contagio del pánico; y el historiador puede estar interesado en estudiar el hecho como consecuencia, por ejemplo, de una larga cadena de inversiones erradas, y como el origen de expedientes de control gubernamental. Cada uno de los tres especialistas insistirá en un aspecto particular del mismo hecho, porque cada uno de ellos tiene un blanco diferente y un punto de vista diferente. Los diversos planteamientos pueden ser coherentes unos con otros, y hasta mutuamente complementarios. Si se tienen todos en cuenta al estudiar un determinado conjunto de hechos, se adopta, según se dice, un *planteamiento interdisciplinario*. (Pero no hay una interciencia, por ejemplo, una ciencia del espacio.)

Lo mismo que hemos dicho respecto del estudio de los hechos por medio de las teorías existentes sirve para la construcción de teorías explicadoras de hechos: esta tarea se ejecuta siempre según un planteamiento más o menos definido, y el planteamiento incluye actitudes filosóficas ocultas en la selección del objetivo y en el punto de vista. Así, por ejemplo, el planteamiento de la caja negra consiste en considerar el sistema “desde fuera”, sin penetrar en su interior. En este caso el objetivo puede ser obtener con poco gasto (o muy barata) una sistematización que tenga las propiedades antes mencionadas (amplia cobertura, sencillez, seguridad). Y la filosofía subyacente, si es que hay alguna explícitamente operante, puede ser el convencionalismo o un estrecho empirismo, según el cual las teorías se construyen con fragmentos de experiencia. Es una buena estrategia y una práctica honesta el formular explícitamente el objetivo y la filosofía subyacente, y el justificarlos cuando es posible. Si el tipo de planteamiento se indica explícitamente, la teoría resultante puede corregirse y perfeccionarse –entre otros procedimientos posibles– alterando el planteamiento.

La variedad de planteamientos puede explicar la frecuente variedad de teorías acerca de los mismos conjuntos de datos. Esta variedad choca con la difundida opinión de que la ciencia —a diferencia del incoherente coro de las filosofías— es monolítica. Las diferencias de opinión entre los científicos son mucho más comunes de lo que se cree corrientemente: lo que pasa es que son fecundas. Las discrepancias que se dan en la comunidad científica son una fuente de progreso: ésta es toda la diferencia entre las disputas científicas y las políticas. Son una fuente de progreso porque consisten en diferentes *ideas*, muy frecuentemente incompatibles; porque no son normalmente siervas de intereses creados; y, finalmente —pero no en último orden de importancia— porque existen medios admitidos de resolver esas disputas, al menos a la larga. Las pseudociencias pueden pretender ser monolíticas, aunque, desde luego, no en el sentido de formalmente consistentes y semánticamente unitarias; en cambio, el espíritu científico florece a base de discrepancias de ideas y entre las ideas y los datos. La uniformización de la opinión científica acerca de todo tema sería tan fatal para la investigación como la fragmentación en escuelas irreconciliables. La libre discrepancia y el acuerdo espontáneo son ambos necesarios para la búsqueda fecunda de la verdad. La discrepancia lo es porque constituye un síntoma de que el problema tratado puede no haber sido resuelto, ni siquiera provisionalmente; y el acuerdo, porque es por así decirlo la luz verde que permite ir a buscar nuevos problemas. Los nuevos problemas a que puede dar lugar una teoría (provisionalmente aceptada) son problemas de aplicación y contrastación de la teoría. Nos ocuparán en las restantes partes de este libro.

Problemas

8.5.1. Las teorías fenomenológicas (o del tipo de la caja negra), ¿contienen exclusivamente conceptos observacionales? ¿Puede mencionarse una teoría sin conceptos teoréticos? *Problema en lugar de ése*: Hacia fines del siglo pasado, la teoría elástica de la luz, con su extraño éter mecánico, se encontraba desacreditada, y su fracaso arrastró, primero, la clase entera de los modelos mecánicos, y luego todas las pretensiones de refigurar plásticamente y de un modo veraz la realidad. Esta tendencia, bien aprovechada por el convencionalismo, se acentuó con la constitución de la termodinámica como teoría fenomenológica (independiente de cualquier mecanismo), con su aplicación a la química y con el gradual abandono por Maxwell de los tubos elásticos de fuerzas eléctricas supuestos por Faraday. Con esto, la teoría cinética de la materia, los modelos atómicos de las moléculas (por ejemplo, el anillo bencénico de Kekulé) y otras teorías e hipótesis pasaron a considerarse como meras *analogías mecánicas* sin referencia factual: había que interpretarlas como metáforas, no como refiguraciones literales de la realidad; lo más que podía decirse es que las cosas ocurren *como si* hubiera átomos, pero, desde luego, era malo tomar esas ficciones por realidades. Pocos años después se probó casi concluyentemente la realidad de los átomos. Más exactamente: se consiguieron mediciones exactas previstas exclusivamente por las teorías atomísticas (como las teorías de Einstein y Smoluchowski sobre el movimiento browniano) y que eran inimaginables sobre la base de otros sistemas. Consiguientemente, se propusieron teorías cada vez más detalladas de la estructura de los átomos, luego de los núcleos y, finalmente, de las partículas componentes mismas. Inferir de esto alguna conclusión e intentar explicar por qué el “caja-negrismo”, lejos de quedar derrotado por esos hechos histórico-científicos, sigue tan vivo en la microfísica contemporánea.

8.5.2. El revolucionario tratado de Copérnico *De revolutionibus orbium coelestium* (1543)

contenía un prefacio anónimo –luego atribuido a A. Osiander– que intentaba hacer que la obra resultara tolerable desde el punto de vista de las tesis dominantes en la época. En ese prefacio se exponen los puntos de vista metodológicos de Ptolomeo –que eran más convencionalistas que realistas– y se afirma que la finalidad de la astronomía es dar razón de las apariencias por medio de hipótesis cuya única función es posibilitar al astrónomo el cálculo exacto de los movimientos aparentes, no representar la realidad. Para una historia de este planteamiento fenomenológico de la astronomía cf. P. Duhem, *Σωζειν τα φαινόμενα, Essai sur la notion de théorie physique*, París. Hermann, 1908, especialmente pp. 77ss., y R. M. Blake, “Theory of Hypothesis among Renaissance Astronomers”, en E. Madden (ed.), *Theories of Scientific Method*, Seattle, University of Washington Press, 1960. ¿Era el punto de vista convencionalista consistente con la teoría heliostática propuesta por Copérnico? Si lo era, ¿qué interés tenía remodelar la astronomía, si en aquel tiempo los dos puntos de vista quedaban igualmente confirmados por la observación?

8.5.3. Informar acerca de alguna de las obras siguientes: (i) L. Boltzmann, *Populäre Schriften*, Leipzig, Barth, 1905, caps. 9 a 11; (ii) R. Dugas, *La théorie physique au sens de Boltzmann*, Neuchâtel, Éditions du Griffon, 1959, caps. iv-xii; (iii) A. D’Abro, *The Decline of Mechanism*, Nueva York, Van Nostrand, 1939, cap. xi, sobre teorías fenomenológicas; (iv) K. R. Popper, *The Open Society and Its Enemies*, 4a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1962, i, cap. 3, sec. vi, sobre la disputa entre nominalismo metodológico y esencialismo metodológico; (v) J. M. Blatt y V. F. Weisskopf, *Theoretical Nuclear Physics*, Nueva York, Wiley, 1952, pp. 313 y 517ss., sobre la imagen del canal aplicada a las reacciones nucleares; (vi) K. W. Spence, “Types of Constructs in Psychology”, en M. H. Marx (ed.), *Psychological Theory*, Nueva York, Macmillan, 1951; (vii) E. C. Tolman, “The Intervening Variable”, *ibid.*; (viii) K. Mac Corquodale y P. E. Meehl, “Operational Validity of Intervening Constructs”, *ibid.*; (ix) M. H. Marx, “Hypothesis and Constructs”, *ibid.*; (x) E. R. Hilgard, “Intervening Variables, Hypothetical Constructs, Parameters, and Constants”, *American Journal of Psychology*, 71, 238, 1958; (xi) W. Weaver, “The Imperfections of Science”, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 104, 419, 1960; (xii) M. Bunge, “A General Black Box Theory”, *Philosophy of Science*, 30, 346, 1963; (xiii) M. Bunge, “Phenomenological Theories”, en M. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, ed. por M. Bunge en honor a Karl Popper, Nueva York, The Free Press, 1964; “Mechanism and Explanation”, *Philosophy of the Social Sciences*, 27:410-465, 1997; P. Hedström y R. Swedberg (comps.), *Social Mechanisms*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998; M. Bunge, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transactions, 1999.

8.5.4. Establecer un paralelismo entre el planteamiento de la caja negra y el manejo “formal” o “simbólico” de las entidades y las operaciones matemáticas (practicado por Euler y Heaviside). *Problema en lugar de ése*: La investigación experimental y teórica sobre la resolución de problemas se plantea corrientemente ya atendiendo a (i) las relaciones entre las variables del medio (las que determinan la tarea) y el rendimiento, ya atendiendo (ii) a los procesos internos que se supone atraviesa el sujeto, o sea, a variables internas como la inteligencia y la memoria. ¿Se excluyen esos planteamientos recíprocamente? ¿Qué es lo que más probablemente dará frutos inmediatos? ¿Y cuál es el más profundo de esos dos planteamientos, el más difícil, por tanto, pero, al mismo tiempo, el más prometedor a la larga?

8.5.5. ¿Tienen algo en común las teorías científicas fenomenológicas, el fenomenismo (la doctrina epistemológica así llamada) y la fenomenología (la doctrina de E. Husserl)? *Problema en lugar de ése*: Discutir la tesis de que cuanto más general es una teoría tanto menos profunda tiene que ser.

8.5.6. La diferencia entre variables intervinientes o mediadoras y construcciones hipotéticas, ¿es intrínseca o contextual? Examinar, por ejemplo, el papel de la aceleración de la gravedad en mecánica (aceleración constante) y en la teoría gravitatoria (intensidad del campo).

8.5.7. El infalibilismo radical implica que la ciencia avanza en el sentido de una falsabilidad decreciente. El falibilismo radical supone que la ciencia se mueve en el sentido de una falsabilidad creciente. Relacionar esto con la tensión entre puntos de vista fenomenológicos y representacionales, y establecer si, de hecho, hay una tendencia consistente en alguna de las dos direcciones.

8.5.8. Examinar la “paradoja de la teorización” y el “dilema del teórico”, cuestiones discutidas por C. G. Hempel, en H. Feigl, M. Scriven y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, I, II, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1958, pp. 49-50. ¿Surgirían la “paradoja” y el “dilema” si no se empezara por suponer que el objetivo último de la teoría científica es sistematizar los fenómenos que pueden ser observados directamente? ¿Surgen la “paradoja” y el “dilema” si se parte de la base de que el objetivo último de la teorización es refigurar y entender una realidad que resulta generalmente oculta a los sentidos y no puede, por tanto, explicarse a base de conceptos observacionales exclusivamente?

8.5.9. El matemático V. Volterra propuso en 1931 el siguiente sistema axiomático para explicar la dinámica de las poblaciones en concurrencia (especialmente presas y cazadores):

$$dN_i/dt = a_i N_i + \sum_{j \neq i} b_{ij} N_j; i, j = 1, 2, \dots, n; b_{ii} = -b_{ji},$$

en el cual ‘ N_i ’ designa el tamaño de la i -ésima población y ‘ b_{ik} ’ mide la intensidad de la interacción entre las especies consideradas. ¿Es ésta una teoría fenomenológica o representacional? ¿O se sustrae acaso a esa dicotomía?

8.5.10. Comparar los enfoques conductistas (p. ej., el de Skinner), neoconductista (p. ej., el de Hull) y neuropsicológico (p. ej., el de Hebb) del aprendizaje, como otros tantos ejemplos de caja negra, gris y traslúcida respectivamente. Cf. M. Bunge y R. Ardila, *Filosofía de la psicología*, Barcelona, Ariel, 1988.

BIBLIOGRAFÍA

- Boltzmann, L., *Populäre Schriften*, Leipzig, Barth, 1905, caps. 5 y 9-12.
- Braithwaite, R. B., *Scientific Explanation*, Cambridge. Cambridge University Press, 1953, caps. III y IV., trad. esp., Madrid, 1965.
- Bunge, M., “Physics and reality”, *Dialectica*, 19, 195, 1965.
- , “The maturation of science”, en I. Lakatos y A. Musgrave (eds.), *Proceedings of the Intern. Colloquium in The Philosophy of Science*, Londres, 1965, vol. III, Amsterdam, North-Holland.
- , *Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1967.
- , *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.
- , *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.
- , *Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana, 1999.
- , *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transactions, 1999.
- Campbell, N. R., *Foundations of Science*, título primitivo: *Physics: The Elements*, 1920, Nueva York, Dover, 1957, cap. VI.
- Carnap, R., “The Methodological Character of Theoretical Concepts”, en H. Feigl y M. Scriven (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, I, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1956.
- D’Abro, A., *The Decline of Mechanism*, Nueva York, Van Nostrand, 1939, parte 1.

- Duhem, P., *The Aim and Structure of Physical Theory*, 1914, ed. inglesa, Atheneum, 1962, parte 1.
- Einstein, A., "Physics Reality", 1936, en *Out of my Later Years*, Nueva York, Philosophical Library, 1950.
- Feigl, H., "Principles and Problem of Theory Construction in Psychology", en W. Denis, *Current Trends of Psychological Theory*, Pittsburg, University of Pittsburgh Press, 1951.
- Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962.
- Mahner, M., y M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy*, Nueva York, Springer, 1997 [*Fundamentos de la filosofía*, México, Siglo XXI, 2000].
- Marx, M. H. (ed.), *Psychological Theory; Contemporary Readings*, Nueva York, Macmillan, 1951.
- Maxwell, G., "The Ontological Status of Theoretical Entities", en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962.
- Merton, R. K., *Social Theory and Social Structure*, 2a. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, parte 1.
- , *The Sociology of Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1973.
- Nagel, E., *The Structure of Science*, Nueva York, Harcourt, Brace and World, 1961, caps. 5 y 6.
- Popper, K. R., "Three Views Concerning Human Knowledge", en *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963.
- Simon, H. A., y A. Newell, "Models: Their Use and Limitations", en D. White (ed.), *The State of the Social Sciences*, Chicago, University of Chicago Press, 1956.
- Smart, J. J. C., "Theory Construction", en A. Flew (ed.), *Logic and Language*, 2a. serie, Oxford, Blackwell, 1955.
- Suppe, F. (comp.), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1974.
- Tornebohm, H., *A Logical Analysis of the Theory of Relativity*, Estocolmo, Almqvist and Wiksell, 1952.
- Truesdell, C., "Experience, Theory, and Experiment", *Proceedings of the Sixth Hydraulic Conference*, Boletín 36, University of Iowa Studies in Engineering, 1956.

PARTE III

LA APLICACIÓN DE LAS IDEAS CIENTÍFICAS: DE LA EXPLICACIÓN A LA ACCIÓN

Las teorías fácticas se construyen principalmente para explicar, prever o actuar. Las explicaciones reúnen elementos inicialmente aislados en un cuerpo unificado de conocimiento, y calman temporalmente una comezón intelectual. La predicción y la retrodicción conectan el presente con el futuro y el pasado a través de la teoría, y sirven también para contrastar éstas. La explicación y la predicción intervienen combinadas en el planeamiento racional y la ejecución de actos. Así pues, las teorías pueden aplicarse a objetivos de conocimiento o prácticos. Las aplicaciones cognoscitivas de las teorías —por ejemplo, las explicaciones y las predicciones— preceden a su aplicación práctica: antes de poder hacer algo racionalmente con un objetivo práctico tenemos que entender qué es (descripción), por qué es así (explicación) y cómo puede comportarse (predicción). Según esto, la acción racional —la acción contemplada por las varias tecnologías— es acción basada en conocimiento científico. Hay, sin duda, acción sin conocimiento científico, y hasta sin conocimiento conceptual. Pero es precisamente un rasgo distintivo de nuestra civilización el aumento del peso relativo de la acción racional siempre que la acción tiene alcance social. Y la acción racional no es sino la consumación de una elección hecha a la luz de teorías, o la ejecución de un plan construido con la ayuda de teorías. Procedamos, pues, al estudio de las tres principales aplicaciones de la teoría científica: la explicación, la predicción y la acción racional.

9. EXPLICACIÓN

El principal motivo de la invención y contrastación de hipótesis, leyes y teorías es la solución de problemas de por qué, o sea, la explicación de hechos y de sus pautas o regularidades. No nos contentamos con hallar hechos, sino que deseamos saber por qué ocurren en vez de lo contrario; y tampoco nos contentamos con establecer conjunciones constantes explicativas de hechos, sino que intentamos descubrir el mecanismo que explica esas correlaciones.

9.1. CONTESTACIÓN A LOS PORQUÉS

Las explicaciones son respuestas a porqués. Una pregunta del tipo porqué es una cuestión de la forma ‘¿Por qué q ?’, representando ‘ q ’ cualquier cosa que haya que explicar (cf. sec. 4.2). El problema generador y el objeto de la explicación se llaman el *explanandum*, lo que hay que explicar. El *explanandum* puede ser un hecho (o, más bien, una proposición que exprese un hecho), una ley, una regla, un precepto o incluso una teoría entera. Puede ser, pero no tiene que ser necesariamente, algo infrecuente o que entra en contacto con una creencia anterior: en la ciencia por lo menos, lo que exige una explicación es el elemento *aislado*, que puede ser perfectamente un fenómeno corriente o una generalización de sentido común. La explicación es, en efecto, una especie de sistematización.

Una respuesta *racional*, adecuada o fundada a “¿Por qué q ?” será de la forma “ q porque p ”, en la que p , una fórmula compleja, es la *razón* de q . Como “ q porque p ” es lo mismo que “ p , por tanto q ”, la razón, el fundamento o el explicador de q es una fórmula que la implica (o sea, tal que “ $p \rightarrow q$ ” es formalmente verdadera). La razón o el motivo, generalmente un conjunto de fórmulas, se llama el *explanans*, lo que explica. Una respuesta *no racional* a ‘¿Por qué q ?’, en cambio, no dará ninguna razón de q , salvo q misma: frecuentemente consistirá en una afirmación lógicamente irrelevante para el *explanandum* q , como ‘ q porque lo digo yo’, o en una sentencia del tipo ‘ q porque q ’. No aceptaremos más que respuestas racionales a cuestiones de por-qué bien formuladas; toda respuesta de este tipo implicará lógicamente al generador de la cuestión, o sea, tal que *Explanans* $\vdash$ *Explanandum*. Llamaremos *explicación racional* a una argumentación que suministre una respuesta racional a una cuestión de por-qué correctamente formulada.

Por ejemplo, una respuesta a la cuestión ‘¿Por qué quemó c aquel borrador?’ puede ser ‘ c quemó aquel borrador porque estaba mal’. El *explanandum* y generador del problema es aquí “ c quemó aquel borrador”. Pero la proposición “Aquel borrador estaba mal”, dada como razón, no implica por sí misma el *explanandum* y, por tanto, no puede constituir el *explanans* entero. Dicho brevemente: el dar la información “Aquel borrador es-

taba mal” no es motivo suficiente de “*c* quemó aquel borrador”. Una explicación satisfactoria exigirá otra premisa más, como, por ejemplo, la generalización “*c* quema todos los borradores que están mal”. La siguiente será entonces una explicación racional del hecho de que *c* quemó aquel borrador (o sea, se tendrá así una respuesta completa a la pregunta ‘¿por qué quemó *c* aquel borrador?’):

<i>c</i> quema todos los borradores que están mal (<i>Generalización</i>)	} EXPLANANS
Aquel borrador estaba mal (<i>Circunstancia</i>)	
<i>c</i> quemó aquel borrador (<i>Hecho explicado</i>)	EXPLANANDUM

Obsérvese que el explanans se ha escindido en una proposición general y otra singular, y que el explanandum es una consecuencia lógica de ambas. (En general, el explanans puede contener cierto número de generalizaciones y cierto número de datos.) Dicho de otro modo: la explicación racional de un hecho supone la *subsunción* del explanandum bajo una o más *generalizaciones* por medio de información relativa a las *circunstancias* que acompañan el hecho que se quiere explicar. (En el anterior ejemplo el explanans contenía una generalización empírica. La estructura lógica de la explicación de un hecho sería la misma si en el explanans apareciera un enunciado legaliforme propiamente dicho, en vez de una mera generalización empírica.) Consiguientemente, una acumulación de datos, por numerosos y precisos que sean, no tiene potencia explicativa: sólo fórmulas lógicamente fuertes pueden suministrar explicaciones si se las pone en relación con datos.

La relación lógica entre el explanans completo, o fundamento, y el explanandum es

$$\{ \text{Generalización(es), Circunstancia(s)} \} \vdash \text{Explanandum} \quad [9.1]$$

o bien, abreviadamente, $\{G, C\} \vdash E$. Podemos leer esa fórmula así: ‘*G* y *C*, luego *E*’, o bien ‘ $\{G, C\}$ es un explicans de *E*’. Muy a menudo la deducción consistirá en una mera especificación, o sea, en la sustitución de una variable por una constante. Ejemplo 1: $\{\text{Todos los } A \text{ son } B, c \text{ es un } A\} \vdash c \text{ es un } B$. Ejemplo 2: $\{pV = 1 \text{ atmósfera/litro}, p = 2 \text{ atmósferas}\} \vdash V = 1/2 \text{ litro}$.

*La situación es ligeramente diferente, pero sustancialmente la misma, cuando lo que se invoca para explicar algo es una regla o un precepto en vez de una ley. Supongamos que estamos intentando justificar el que se haya quemado el borrador del anterior ejemplo invocando la norma o precepto “Todos los borradores que están mal deben quemarse”. El primer paso sería:

Todos los borradores que están mal deben quemarse (<i>Regla</i>)	} EXPLANANS
Aquel borrador estaba mal (<i>Circunstancia</i>)	
Aquel borrador debía quemarse	EXPLANANDUM MEDIO

Con eso estamos aún a medio camino entre el explanandum dado, “*c* quemó aquel borrador”, y la explicación. Para conseguir una deducción del explanandum tenemos que conseguir una premisa más que se refiera a los hábitos o principios de *c*, o sea, alguna

generalización sobre *c*. Algo así como “*c* hace todo lo que se debe hacer”, o algo parecido. Esta nueva premisa, en efecto, junto con la anterior consecuencia, da la conclusión deseada:

<i>c</i> hace todo que se debe hacer (<i>Generalización</i>)	}	EXPLANANS MEDIO
Aquel borrador debía quemarse (<i>Explanandum medio</i>)		
<i>c</i> quemó aquel borrador		EXPLANANDUM

Cuando la explicación consiste en la subsunción bajo un conjunto de reglas, el esquema es algo más complejo, pero sigue siendo un esquema deductivo, a saber, la cadena

$\{Regla(s), Circunstancia(s)\} \vdash Explanandum\ medio$

$\{Generalización(es), Explanandum\ medio\} \vdash Explanandum$ [9.2.]

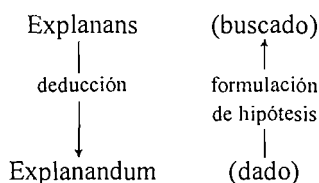
Las explicaciones con la ayuda de reglas son típicas, aunque no exclusivas, de la tecnología (ciencias aplicadas), mientras que las explicaciones a base de leyes son típicas de la ciencia pura. Lo típico y exclusivo de la tecnología es la explicación a base de reglas fundamentadas, de reglas basadas en leyes, o reglas precientíficas (cf. sec. 11.2). Pero en todos los casos tenemos un explanandum (el generador de la cuestión) y buscamos un conjunto de premisas explicativas que impliquen el explanandum. Según eso, una formulación más completa de la cuestión ¿*Por qué q?* es ¿*Cuál es el (conjunto de premisas) p que explica q?* Pronto veremos, empero, que no hay un conjunto único de premisas explicativas.*

Hay diferentes clases de explicación, según la naturaleza de las premisas del explicans. Así, por ejemplo, una explicación a base de leyes causales será distinta de una explicación a base de leyes estocásticas. Pero esas diferencias de contenido caen más allá del campo de la lógica: todas las explicaciones racionales, incluso las equivocadas, tienen la misma estructura lógica. En particular, una explicación a base de leyes estocásticas o probabilitarias (como la ley de distribución de las velocidades, de Maxwell) no es ella misma probable, del mismo modo que los razonamientos de la teoría de la probabilidad sobre ella, si son válidos, no son simplemente probables, sino estrictamente deductivos y, por tanto, concluyentes. Recuérdese que la lógica formal no se ocupa del contenido de las premisas y conclusiones de una argumentación, sino sólo de sus relaciones formales: para que el explicandum se siga lógicamente del explicans es necesario y suficiente que el condicional “Explanans $\rightarrow$ Explanandum” sea una verdad lógica.

La anterior discusión se resumirá en la siguiente *Definición 1*: Una *explicación racional* de una fórmula *q* es una respuesta a la cuestión ‘¿Por qué *q*?’ y consistente en una argumentación que muestre que *q* se sigue lógicamente de un conjunto de generalizaciones o reglas y datos que no contienen a *q*. Obsérvese, ante todo, que esa definición se refiere a fórmulas (proposiciones y fórmulas proposicionales). No refiere directamente a hechos, porque la explicación es una operación conceptual y los hechos no quedan afectados porque se piense sobre ellos –a menos de que esos hechos sean pensamientos. La frase ‘explicación de hechos’ es elíptica y no debe tomarse literalmente: explicar un hecho no es, en efecto, sino *explicar una proposición* que describe un hecho. Seguiremos

usando esa expresión, pero construyéndola en el sentido recién indicado. En segundo lugar, nuestra definición deja lugar para más de una explicación de cada fórmula: habla de *una* respuesta, y no de *la* respuesta a una cuestión de por-qué. Esto tiene varias razones: (i) un mismo hecho puede describirse de varias maneras y, por tanto, todo un conjunto de proposiciones puede referirse a un solo hecho, y cada una de ellas puede merecer una explicación; (ii) aunque hubiera una correspondencia biunívoca entre los hechos y las proposiciones factuales, la explicación sería múltiple, porque cualquier fórmula dada se deduce de infinitos conjuntos de premisas; (iii) nos pueden interesar diferentes aspectos de una misma cuestión, o diferentes niveles de explicación, correspondientes cada uno de ellos a diferentes niveles de análisis; (iv) las explicaciones pueden variar con el cuerpo de conocimiento en el que tienen lugar. En resumen: en materias factuales no hay explicación única y definitiva. En tercer lugar, nuestra definición estatuye que el explicans no contenga el explicandum. Esto es para eliminar respuestas de la forma '*q* porque *q*', '*q* porque *p* y *q*', que son circulares y, por tanto, nada instructiva. A diferencia de la relación de deducibilidad, la relación explicans-explicandum es no-reflexiva. Volveremos a hablar de esto en la sección siguiente. En cuarto lugar, de acuerdo con nuestra definición una explicación no es una fórmula —como, por ejemplo, " $G \& C \rightarrow E$ ", que está implicada por " $\{G, C\} \vdash E$ "— sino una secuencia de fórmulas que constituyen una argumentación válida. Esto no implica la afirmación recíproca, a saber, que toda argumentación deductiva sea explicativa. Una explicación requiere, además de la deducción, (i) una previa cuestión de por-qué (ingrediente pragmático) y (ii) un explicans en el cual hay al menos una fórmula general (por ejemplo, una ley o una regla) y una proposición singular (un dato). Brevemente: si *p* explica *q*, entonces *p* implica *q*, pero no a la inversa. Por eso una caracterización puramente sintáctica de la explicación sería incompleta; además, haría redundante al término 'explicación', puesto que bastaría con 'deducción'.

Hasta el momento hemos mencionado los siguientes rasgos de la explicación: (i) que consiste en responder a cuestiones de por-qué (aspecto *pragmático*); (ii) que se refiere a fórmulas, las cuales pueden o no referir a su vez a hechos y estructuras (aspecto *semántico*); y (iii) que consiste en una argumentación lógica con proposiciones generales y particulares (aspecto *sintáctico*). Un cuarto rasgo de interés de la explicación es de naturaleza *ontológica*: desde este punto de vista podemos decir que explicar un hecho expresado por un explicandum es insertar ese hecho en un esquema nomológico expresado por la(s) ley(es) o regla(s) implicadas por el explicans —o sea, localizar el hecho en un sistema de entidades interrelacionadas por leyes. Un quinto aspecto de la explicación es *gnoseológico*: desde este punto de vista la explicación procede a la inversa de la deducción. De hecho, lo dado al principio en la explicación es el explicandum, mientras que lo que hay que hallar son los miembros del explicans:



Este último rasgo de la explicación da razón de su poder genético, esto es, de su capacidad de producir hipótesis y sistemas de hipótesis. Como el explicans tiene que ser lógicamente más fuerte que el explicandum, la correcta formulación de las preguntas llevará a construir fórmulas de nivel cada vez más alto, o sea, fórmulas más generales y con más conceptos abstractos. Al preguntar por qué ocurren los hechos tal como lo hacen nos vemos movidos a conjeturar sus leyes; al preguntar por qué las leyes de nivel bajo son tal cual son, nos vemos llevados a construir leyes de nivel superior que impliquen las primeras; y así sin más límite que nuestro propio conocimiento actual. Por esta razón los problemas, y muy particularmente los problemas de por-qué, son el resorte de la ciencia (cf. sec. 4.1); y por esta razón la exigencia de dejar de explicar y concentrarse en la descripción o contentarse con lo ya explicado equivale a matar a la ciencia. Si no hay preguntas de por-qué no hay tampoco explicación; y si no hay hipótesis generales, corroboradas y sistemáticas sobre estructuras objetivas (esto es, enunciados legaliformes), no hay respuestas a preguntas de por-qué, o sea, no hay explicación científica. Dicho brevemente: la explicación es esencial a la ciencia (cf. sec. 9.7).

Un sexto aspecto de la explicación que debe interesarnos es el *psicológico*, la explicación como fuente de comprensión (cf. sec. 9.4). Pero antes de que podamos esperar una comprensión de este aspecto de la explicación tenemos que penetrar más profundamente en la lógica, la epistemología y la ontología de la explicación. Ante todo, tenemos que descubrir qué es lo que distingue la explicación científica de la no-científica.

Problemas

9.1.1. Etimológicamente, ‘explicar’ significa desplegar o desarrollar. ¿Coincide este sentido con el especificado por la definición propuesta en el texto?

9.1.2. Comparar el sentido de ‘explicación’ usado en esta sección con (i) *explicación de la significación* (o especificación de la misma), mediante ejemplos o reglas de designación, y (ii) la *dilucidación* en el sentido de afinación de conceptos. Recuérdese la sec. 3.2. *Problema en lugar de ése*: Comparar la explicación con la definición.

9.1.3. Las sentencias ‘Tengo hambre porque tengo hambre y sed’ y ‘Posee un libro porque posee diez libros’ son perfectamente correctas desde el punto de vista de la lógica. ¿Podrían considerarse explicaciones? *Problema en lugar de ése*: ¿Es correcto decir de una explicación que es verdadera o falsa?

9.1.4. En el texto se utilizó como premisa de un explicans la regla “Todos los borradores que están mal deben quemarse”. ¿Debemos considerarla como un explicans último, o es posible sugerir una explicación de por qué deben quemarse todos los borradores que están mal?

9.1.5. Si los científicos tuvieran que limitarse a hacer, registrar y describir observaciones, absteniéndose de preguntarse por explicaciones. ¿introducirían hipótesis? Y, caso negativo, ¿irían muy lejos en esa actividad de recolectar datos científicamente válidos?

9.1.6. Dilucidar el concepto de *explicación parcial* tal como se presenta en el siguiente ejemplo. Explicandum: Un niño inteligente falta frecuentemente a clase. Premisas del explicans: “Los niños carentes de motivación faltan frecuentemente a clase” (generalización), y “El niño no está interesado por la escuela” (circunstancia). Podemos considerar eso como parte de la explicación (o como explicación parcial) del hecho dado. ¿Qué podría completar la explicación? ¿Es posible

conseguir alguna vez una explicación completa de un hecho real? Téngase cuidado en distinguir el hecho real del enunciado que lo expresa.

9.1.7. Examinar la tesis “No hay en la ciencia explicaciones definitivas”. ¿Qué clase de proposición es? ¿Es una generalización empírica o una hipótesis propiamente dicha? En caso de que sea una hipótesis, ¿de qué clase? ¿Qué fundamentos puede tener, si es que los tiene? ¿Es refutable?

9.1.8. Algunos filósofos han pensado que el esquema de las explicaciones científicas es “ $C \vdash E$ ”, denotando ‘ C ’ las causas que producen los efectos denotados por ‘ E ’. Examinar esa opinión de raíz aristotélica.

9.1.9. Durante siglos, ciertos fósiles se consideraron en China como huesos de dragón, dotados de determinadas virtudes médicas, hasta el punto de que se vendían en las boticas; los antropólogos los interpretaron como restos de *Sinanthropus*. Esto ilustra la tesis de que la interpretación de los hechos depende del conocimiento básico poseído (en la ciencia, del conocimiento básico sistemático ya poseído). Desarrollar esta tesis.

9.1.10. Examinar la opinión de que las explicaciones estadísticas (las que contienen leyes o datos estadísticos) son, a diferencia de las explicaciones deductivas, casos de “razonamiento probabilístico” en el sentido de que el explanandum es en ellas una consecuencia probable, no cierta, del explanans. *Problema en lugar de ése*: Discutir la opinión de que el esquema generalización-circunstancia no cubre la explicación por motivos y fines, que es importante en las ciencias del hombre, y que, por consiguiente, estas ciencias reclaman una lógica de la explicación esencialmente diversa de la propuesta por Mill, Popper y Hempel.

9.2. EXPLICACIÓN NO CIENTÍFICA

Toda explicación racional de un hecho es una secuencia hipotético-deductiva que contiene generalización(es) e información (cf. sec. 9.1). Si la(s) generalización(es) y la información son científicas y la argumentación es correcta (lógicamente válida), hablamos de explicación *científica*, y también de explicación *nomológica*, con objeto de subrayar el papel de la ley científica en ella, o de explicación *teorética*, para aludir a la situación de la argumentación en un cuerpo de teoría. Si las generalizaciones y los datos son tecnológicos, llamamos a la explicación *tecnológica* y, a veces, *nomopragmática* (en vez de nomológica), para subrayar la función que desempeñan en ella las reglas fundamentadas, que son enunciados nomopragmáticos. Toda otra explicación, aunque sea racional al tenor de nuestra definición de la sección 9.1, se llamará *no-científica*. No hará falta decir que una explicación no-científica puede ser más correcta que mil explicaciones científicas: pero no es esto lo que interesa, pues la ciencia no tiene el monopolio de la verdad, sino sólo el de los medios de someter la verdad a prueba y reforzarla. La explicación no-científica ha de interesarnos porque su estudio da ulterior información acerca de lo que no es la ciencia, y porque se presenta en la práctica de ésta.

Pero antes de estudiar la explicación no-científica debemos estimar una clase de argumentación que frecuentemente se considera explicación aunque no satisface los requisitos establecidos en nuestra definición (cf. sec. 9.1), a saber, la etiquetación o *nomina-ción*. La nominación es una pseudoexplicación que hay que citar al hablar de la explicación

por el mismo motivo que hay que hablar de las perlas inauténticas (“falsas”) en un estudio sobre las perlas. La nominación tiene un papel importante en las discusiones ideológicas, en la pseudociencia e incluso en los primeros estadios de la ciencia (protociencia). He aquí algunos casos destacados de esta pseudoexplicación. (i) “¿Por qué difieren los cuerpos vivos de los cuerpos inertes? Porque poseen una fuerza vital” (vitalismo y, en particular, H. Bergson). (ii) “¿Por qué está tan extendido el mezquite [una planta mexicana]? A causa de su capacidad de ocupar nuevo terreno” (leído en un estudio ecológico). (iii) “¿Por qué duerme el opio? Porque posee *virtus dormitiva*” (el médico de Molière). (iv) “¿Por qué luchan tan a menudo los hombres? Porque tienen un instinto de agresión” (psicoanálisis). (v) “¿Por qué los animales superiores consiguen resolver con facilidad ciertos problemas? Porque han conseguido una especial comprensión” (psicología de la *Gestalt* o forma). (vi) “¿Por qué pueden los individuos recordar ciertas experiencias? A causa de su memoria” (psicología de las facultades, ahora rebautizada con el nombre de ‘psicología de las capacidades’). (vii) “¿Por qué reprimimos ciertos sentimientos y pensamientos? Porque tenemos un censor en nosotros” (el super-ego de Freud). (viii) “¿Por qué los antiguos griegos destacaron prácticamente en todo? Porque eran un pueblo muy dotado” (leído en un libro de historia). (ix) “¿Por qué algunas personas se comportan inteligentemente? Porque tienen un alto IQ (cociente de inteligencia)”. (x) “¿Por qué algunas personas aciertan con conjeturas que rebasan la consideración probabilista? Porque tienen capacidades paranormales” (parapsicología).

La peculiaridad lógica de la nominación es su circularidad: es de la forma “*q* porque *q*”. El correlato epistemológico de esa circularidad es que consiste en lo que desde hace mucho tiempo se llama *explicatio ignoti per ignotum*, la explicación de lo desconocido por lo desconocido. Su correlato psicológico es que consiste en una *explicatio obscuri per obscurius*, explicación de lo oscuro por lo más oscuro. De hecho, decir que una vasija se ha roto porque era frágil o porque tenía la propiedad de fragilidad es repetir el explicandum de un modo ligeramente diverso y acaso más imponente. Ahora bien: las repeticiones son inocentes mientras no se presenten como explicaciones y no se utilicen para pasar de contrabando hipótesis falsas o incontrastables. Así, por ejemplo, el explicar la agresión efectiva como resultado de un instinto de agresión no es sólo circular, sino que entroniza la hipótesis de que un tal instinto existe efectivamente, conjetura refutada por la etología. Un ejemplo de pseudoexplicación que introduce de contrabando una hipótesis incontrastable es la explicación aristotélica del cambio como actualización o despliegue de una capacidad o potencialidad de cambio, la cual no puede ponerse a prueba sino por el cambio mismo. Con esto bastará como discusión de la nominación como pseudo-explicación.

Ahora recogeremos dos variedades de explicación racional que no son científicas: (i) la explicación *ordinaria*, argumentación que utiliza conocimiento común en vez de conocimiento científico, y (ii) la explicación *acientífica*, que contiene premisas manifiestamente falsas. Ambas son explicaciones racionales en el sentido de que satisfacen el esquema lógico “Explicans $\vdash$ Explicandum”.

La explicación ordinaria de un hecho cumple correctamente el esquema “ $\{G, C\} \vdash E$ ”; pero ocurre que en ella *G* no es un conjunto de leyes científicas, ni *C* un conjunto de datos científicos. En la explicación ordinaria *G* será una generalización de sentido común —un

enunciado que no será una ley, pero tendrá la forma de ellas—, como “Todos los cuervos son negros”, y *C* y *E* describirán hechos conocidos o conjeturados por el sentido común. Los datos *C* y *E* contenidos en la explicación ordinaria pueden diferir en los siguientes aspectos de los que se presentan en la explicación científica. En primer lugar, *C* y *E* pueden expresar *hechos enteros* (por ejemplo, acontecimientos) en la explicación ordinaria, mientras que en contextos científicos referirán por lo común a *rasgos seleccionados* (propiedades) de hechos, como, por ejemplo, las concentraciones inicial y final de un conjunto de agentes químicos. En particular, *C* y *E* suelen designar en la explicación ordinaria hechos, reales o imaginarios, que se suponen accesibles por medios ordinarios, mientras que en la ciencia no se ponen esas restricciones: ‘*C*’ y ‘*E*’ pueden designar, efectivamente, en la ciencia valores de propiedades inferidas.

Es claro que la explicación ordinaria puede ser correcta: las premisas *G* y *C* pueden ser verdaderas y válida la derivación de *E* a partir de ellas. Así, por ejemplo, puede ser verdadero decir que el automóvil se paró porque se quedó sin gasolina, si efectivamente se le había acabado ésta, lo cual puede contrastarse por el simple procedimiento de cargar de nuevo el combustible y ver si el coche anda; la generalización contenida implícitamente, sobre la relación constante entre la gasolina y el *output* del motor, es también verdadera. Pero otras tantas veces la explicación ordinaria es incorrecta porque supone información falsa o, más frecuentemente, porque usa generalizaciones falsas o incontrastables. Pero la principal deficiencia de la explicación ordinaria es, desde luego, que en muchos casos importantes no puede precisarse ulteriormente sin dejar de ser ordinaria.

Consideremos, por ejemplo, la cuestión ¿Por qué sentimos fresco cuando, después de haber nadado, nos secamos al sol? Un no científico puede contestar más o menos: ‘Para evaporarse, el agua que aún llevamos en la piel absorbe calor del cuerpo’. El físico rechazará esa explicación teleológica y ofrecerá en su lugar alguna de las siguientes: (i) “Por la evaporación el agua toma alguna energía atómica del cuerpo; este calor de vaporización puede calcularse”. (ii) “Al encontrarse en contacto con el cuerpo, las moléculas de agua chocan con las de la piel y reciben nueva energía cinética; una consecuencia de ello es que la piel se enfría (disminución de energía cinética), y otra que las moléculas de agua rebasan la tensión superficial (se evaporan)”. La primera de esas dos explicaciones científicas está formulada con términos macroscópicos, en cuanto al sentido, la segunda utiliza conceptos referentes a lo macroscópico y a lo microscópico. Ambas contienen términos no familiares, pero son contrastables y, además, sistémicas: son aplicaciones de teorías científicas. La diferencia entre ellas es de profundidad: la segunda explicación es más profunda que la primera en el sentido de que, al poner en relación un macrohecho (descenso de temperatura) con un conjunto de microhechos (colisión y escape de moléculas), suministra una explicación más completa del explicandum. Dicho brevemente: mientras que la explicación ordinaria es extrasistemática, la explicación científica es *sistemática*, o sea, tiene lugar en el seno de algún sistema conceptual; además, es contrastable y perfectible cosa que puede no ser la explicación ordinaria.

Otro rasgo más de la explicación ordinaria que la distingue de la explicación científica es que puede proceder sin criticar previamente lo que se pretende explicar. La explicación científica, en cambio, es respuesta a un problema *bien formulado*, o sea, a un problema bien concebido y bien expresado (cf. sec. 4.2). En el contexto de la no-ciencia no

se tienen tan severas restricciones a las preguntas, hasta el punto de que no se rechazan, sino que se responde con celo a preguntas como ‘¿Por qué son tan ruidosos los fantasmas?’ o ‘¿Por qué algunas personas son buenos medios espiritistas?’ o ‘¿Por qué castigó Zeus a Prometeo?’. En cambio, la explicación científica consiste muchas veces en eliminar el explicandum mostrando que no es cosa que deba explicarse. Éste es un procedimiento legítimo para *explicar eliminativamente*. (Hay en cambio formas ilegítimas de eliminación: (i) pasar por alto una pieza de evidencia desfavorable para la hipótesis preferida, introduciendo una hipótesis *ad hoc* que cubra precisamente la excepción, y (ii) negarse a reconocer niveles suprafísicos de la realidad reduciéndolos violentamente al nivel físico. Sobre esto último, cf. sec. 9.5.) Dicho brevemente: mientras que la explicación ordinaria tiende a aceptar ingenuamente todo problema de por-qué, la explicación científica exige que el explicandum sea al menos verosímil. La tabla 9.1 resume esa discusión.

TABLA 9.1. EXPLICACIÓN RACIONAL

<i>Ordinaria</i>	<i>Científica</i>
Sin restricción sobre las cuestiones de por-qué.	Restringida a cuestiones bien-formuladas.
Sin restricciones sobre la fiabilidad del explanandum ni de las circunstancias.	Los datos sobre el explanandum y las circunstancias han de ser contrastables.
El explanandum refiere a un hecho íntegro.	El explanandum refiere a aspectos seleccionados de un hecho.
Las premisas del explanans son imprecisas.	Las premisas del explanans son precisas.
Las generalizaciones supuestas son extrasistemáticas: generalizaciones empíricas, hipótesis <i>ad hoc</i> o meros mitos.	Las generalizaciones supuestas son sistemáticas, leyes.
Precisión y profundidad difícilmente mejorables sin salir de sus medios.	Precisión y profundidad mejorables.

Un tipo destacado de explicación racional que a primera vista parece desafiar el esquema “ $\{G, C\} \vdash E$ ” es el esquema de inferencia corrientemente llamado *diagnóstico* o *interpretación* de hechos (no de signos artificiales). El diagnóstico es importante en la vida cotidiana y en la ciencia aplicada, en medicina, por ejemplo, en la cual consiste en descubrir enfermedades sobre la base de la observación de síntomas. El diagnóstico es frecuentemente ambiguo, porque las relaciones entre las causas y los síntomas son frecuentemente sólo unívocas, no biunívocas. Puede reducirse la ambigüedad por medio de más observaciones y más profundo conocimiento, como cuando se localiza la causa de dolores de cabeza recurrentes entre una larga lista de causas posibles. Pero rara vez puede eliminarse totalmente aquella ambigüedad. Otra fuente de ésta es la formulación in-

completa de las generalizaciones relevantes. Veamos hasta dónde podemos llegar en la reducción de ambigüedades de este tipo.

Consideremos el hecho expresado por la siguiente sentencia: ‘El Presidente *X* ha nombrado al señor *Y* representante de Estados Unidos en la ONU’. Puede darse de este hecho cualquiera de las siguientes interpretaciones (diagnósticos hipotéticos):

1. El nombramiento muestra la gran (pequeña) importancia que el Presidente *X* atribuye al señor *Y*.
2. El nombramiento muestra la gran (pequeña) importancia que el Presidente *X* atribuye a la ONU.
3. El nombramiento muestra la gran (pequeña) importancia que el Presidente *X* atribuye al señor *Y* y a la ONU.

La hipótesis 1 *presupone* que el Presidente *X* atribuye a las ONU una importancia grande (pequeña). La conjetura 2 presupone que el Presidente *X* atribuye al señor *Y* una importancia grande (pequeña). Y la sospecha 3 coincide con su propia presuposición. Mostraremos que todas ellas satisfacen el esquema de la explicación racional.

1. Generalización: “A grandes (pequeñas) tareas, grandes (pequeños) hombres”, o “Si una tarea es grande (pequeña), entonces el que la satisface (o debería hacerlo) es grande (pequeño).” Circunstancia: “La tarea de representar a Estados Unidos en la ONU es grande (pequeña).” Explicandum (conclusión): “El representante de Estados Unidos en la ONU es un gran (pequeño) hombre”. Es claro que esto coincide con el explicandum, puesto que “El representante de los Estados Unidos en la ONU” no es más que una descripción definida del señor *Y*.

2. Generalización: “A grandes (pequeños) hombres, grandes (pequeñas) tareas”, o “Si un hombre es grande (pequeño), entonces toda tarea que se le asigne es (o debe ser) grande (pequeña).” Circunstancia: “El señor *Y* es un gran (pequeño) hombre.” Explicandum o conclusión: “La tarea atribuida al señor *Y* es grande (pequeña).”

3. Generalización: “A grandes (pequeños) hombres, grandes (pequeñas) tareas, y recíprocamente”, o “Un hombre es grande (pequeño) si y sólo si se le atribuye una tarea grande (pequeña)”. Circunstancia: “La ONU y el señor *Y* son grandes (pequeños)”. Explicandum o conclusión: “La tarea de representar los Estados Unidos en la ONU y el señor *Y* son grandes (pequeños).”

Como vemos, el enunciado diagnóstico es el explicandum de una explicación racional. El hecho o síntoma que hay que interpretar no se presenta en el diagnóstico más que como punto de partida: lo que debe considerarse necesitado de explicación es un hecho no-observable, a saber, el referente del explanandum o diagnóstico. El autor de cualquiera de las inferencias 1-3 saltó del síntoma al diagnóstico acaso sin pensar en las premisas de la explicación: éstas se introdujeron o explicitaron sólo a posteriori, en un intento de dar validez al salto. Como consecuencia de no explicitar las premisas, la interpretación de signos naturales es más ambigua de lo que tendría que ser. Tal es corrientemente el caso de la interpretación (explicación) histórica, la cual contiene generalizaciones de sentido común y a veces (por ahora) enunciados tomados de la psicología y la sociología. Las ambigüedades de la historia podrían disminuirse convirtiendo esos presupuestos en premisas explícitas. Pero entonces la historia atraería a pocos escritores.

Tras haber estudiado la explicación ordinaria y sus deficiencias atendamos ahora a la

explicación *acientífica*, o sea, la explicación a base de premisas falsas. Ésta se presenta no sólo en el contexto de doctrinas pseudocientíficas y anticientíficas, sino incluso en textos científicos. Un ilustre ejemplo es la corriente respuesta a la pregunta ‘¿Por qué se curvan los rayos de luz cuando pasan rozando un astro?’ En gran número de textos se encuentra la siguiente explicación: En primer lugar, la teoría especial de la relatividad contiene la ley “Energía = Masa $\times$ Cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío” (ya el aducir esta ley es en parte incorrecto, porque el teorema pertenece a una teoría de cosas dotadas de masa, por lo que es inaplicable a la luz). En segundo lugar, la anterior ecuación significa que la masa y la energía son lo mismo, salvo por un factor constante (afirmación falsa), o, por lo menos, equivalentes (verdad a medias), y, particularmente, que todo lo que tiene energía tiene también masa (falso). En tercer lugar, como la luz tiene energía (verdadero), tiene también masa (falso). En cuarto lugar, como la luz tiene masa (falso) y como todo lo que tiene masa es atraído y consiguientemente desviado de su trayectoria por un cuerpo (verdad), cualquier cuerpo atraerá la luz (falso). En quinto lugar, como todo lo que atrae desvía, el cuerpo desviará la luz; en particular, un cuerpo celeste desviará un rayo de luz (verdad). Esta explicación es perfectamente racional, porque subsume el explicandum (generalización) bajo generalizaciones más amplias; pero es una explicación falsa. Además, es *acientífica* porque se basa en una generalización sin garantías de un teorema mecánico —“ $E = mc^2$ ”— a la óptica. Esta generalización es una falacia, porque de la proposición “Si la masa de un sistema es m , entonces la energía total del sistema es mc^2 ” no se sigue la recíproca, “Si la energía total de un sistema es E , entonces la masa del sistema es $m = E/c^2$ ”. La derivación ha sido “formal” en el sentido de que se ha realizado una transformación aritmética (de “ $E = mc^2$ ” a “ $m = E/c^2$ ”) sin prestar atención a las significaciones físicas de los símbolos, significación que no puede precisarse, sino poniendo de manifiesto la variable de objeto de E y m , una variable que denota un punto de masa cualquiera. De este modo se ha violado la condición de cierre semántico (cf. sec. 7.2), porque se ha metido de contrabando en una teoría que no lo contenía inicialmente el concepto de masa de un rayo de luz.

El caso de explicación *acientífica* que acabamos de discutir muestra simplemente una mala aplicación de una teoría científica estimablemente verdadera, mala aplicación debida a la comprensión errónea de una de sus fórmulas, incompreensión, dicho sea de paso, posibilitada por el descuido de la lógica. Tales errores son corrientes, e inofensivos a la larga; por otra parte, alguna explicación equivocada de una teoría científica puede a veces sugerir su extensión a un nuevo terreno. Otro tipo de explicación *acientífica* es el que supone premisas abiertamente falsas, resueltamente incontrastables o hasta sin sentido, pertenecientes a la pseudociencia. Tales doctrinas mezclan predicados escrutables con otros que son inescrutables, de tal modo que por arte de birlibirloque pueden a veces derivar un explicandum. El juego es en realidad fácil. Tomemos como premisas “Todas las estrellas son patapúm” y “Todo patapúm es caliente”; ‘patapúm’ designa la propiedad inescrutable que queramos. De las dos premisas se sigue correctamente “Todas las estrellas son calientes”, lo cual es sin duda verdad. Pero no consideramos científica esta explicación del calor de las estrellas; los supuestos iniciales de la teoría del patapúm son incontrastables e infundados, aunque puedan tener sentido en el contexto del patapumismo.

Para conseguir una explicación científica de un hecho es necesario, pero insuficiente,

poder reducir las propiedades que expresan ese hecho de datos y generalizaciones que pertenezcan a un sistema científico. Esta condición se detallará en la sección siguiente. Pero antes de eso vale la pena observar que la mera existencia de juegos acientíficos como el patapumismo significa una seria crítica de la doctrina según la cual las teorías no son sino expedientes convencionales o juegos que permiten la sistematización de proposiciones observacionales.

Problemas

9.2.1. Plantear una cuestión de por-qué y hallarle una respuesta ordinaria o científica. *Problema en lugar de ése*: Un médico observa que la córnea de los ojos de un hombre está amarilla. ¿Cuál es su diagnóstico? ¿Carece ese diagnóstico de ambigüedad? Si no, ¿cómo la supera el médico?

9.2.2. Analizar el caso siguiente, atendiendo en especial a la contrastabilidad de las hipótesis implicadas. Explanandum: “El dolor producido por un estímulo dado disminuye por la interposición de otro estímulo” (¿hecho, resumen de observaciones, hipótesis de nivel intermedio?). Generalización del explanans # 1: “La atención del sujeto se distrae por la aplicación del segundo estímulo, de modo que percibe el dolor menos intensamente (pero el dolor sigue existiendo)”. Generalización del explanans # 2: “Un estímulo positivo aplicado a un sistema nervioso puede atenuar o hasta inhibir completamente la actividad de otros centros nerviosos del sistema” (ley de inducción negativa, Pavlov).

9.2.3. Historiadores, sociólogos y psicólogos han ofrecido frecuentemente explicaciones basadas en conceptos sobre la naturaleza humana. Por ejemplo: “Es de la naturaleza humana el intentar mejorar (y, por tanto, progresar)”, o “Es propio de la naturaleza humana conformarse fácilmente (y, por tanto, estancarse y declinar)”. Estudiar la lógica de ese tipo de explicación. *Problema en lugar de ése*: Como numerosas explicaciones históricas se encuentran fuera de la lógica, algunos filósofos de la historia han llegado a la conclusión de que no existe la explicación histórica o que, si existe, tiene que ser radicalmente diferente de lo que hemos venido llamando explicación racional. Sobre el “modelo deductivo” de explicación en su aplicación a la historia, cf. K. R. Popper, *The Open Society and its Enemies*, 4a. ed., 1945; Londres, Routledge and Kegan Paul, 1962, cap. 25, y *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., 1944; Londres, Routledge and Kegan Paul, 1960, sec. 30, y C. G. Hempel, “The Function of General Laws is History”, *Journal of Philosophy*, 39, 35, 1942.

9.2.4. Un físico famoso ha dicho: “Inmediatamente después de una colisión no elástica con otra partícula, el núcleo atómico intenta descargarse de su energía de excitación del modo más sencillo posible”. ¿Es eso una explicación de la decadencia nuclear? Si lo es, ¿de qué tipo? ¿Podrían citarse otros ejemplos de explicación del mismo estilo hallados en publicaciones científicas?

9.2.5. Discutir la tesis —sostenida por los filósofos del lenguaje ordinario— de que el modo correcto de plantearse el problema de la explicación científica consiste en repasar y analizar los usos del verbo ‘explicar’ en el habla ordinaria.

9.2.6. Los ruidos aparentemente espontáneos oídos en ciertos edificios antiguos en malas condiciones se han explicado muchas veces como debidos a fantasmas; hasta ha habido conferencias internacionales sobre “fenómenos espontáneos”, a las que han acudido algunos científicos. ¿Son científicas esas explicaciones? Si no lo son, ¿es razonable aceptarlas o inferir que se refieren a fenómenos inaccesibles a la explicación científica?

9.2.7. La explicación de los hechos a base de predisposiciones, capacidades o potencialidades ha sido condenada por circular y, consiguientemente, por ser una pseudoexplicación. Ese criterio

hemos adoptado en el texto. ¿Se sigue de ello que no pueda atribuirse a las cosas predisposiciones, capacidades o potencialidades?

9.2.8. La escuela hermenéutica, desde Dilthey, Rickert y Weber hasta nuestros días, sostiene que todo lo social “es un texto o parecido a un texto”, de modo que debe ser “interpretado” y, en particular, en función de intenciones (supuestas). Averiguar si semejante “interpretación” difiere de la hipótesis, y si hechos macrosociales, tales como la sobrepoblación, la desocupación, la pobreza, las guerras civiles y el deterioro ambiental pueden explicarse exclusivamente en función de las intenciones (conjeturadas) de individuos. Cf. H. Albert, *Kritik der reinen Hermeneutik*, Tübingen, J. C. B. Mohr, 1994; M. Bunge, *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998.

9.2.9. Las explicaciones teleológicas suelen ser falsas cuando se refieren a acontecimientos por debajo del nivel psíquico, y por esta razón deben evitarse siempre que sea posible (cf. sec. 5.9: principios de parsimonia de niveles, contigüidad de niveles y nivel de origen). ¿Puede decirse lo mismo respecto de cuestiones teleológicas como ‘¿Cuál es la función (o el uso) de x ?’ Caso de respuesta afirmativa: ¿cómo es entonces posible que una pregunta teleológica dé lugar a investigación fecunda, y que las respuestas teleológicas a esa cuestión sean oscuras y hasta confusorias?

9.2.10. ¿Deben desterrarse de toda ciencia las explicaciones teleológicas, o pueden aceptarse *in extremis* y siempre que se refieran a hechos de los niveles más altos y con la condición de que no se consideren definitivas, sino aún necesitadas de explicación no-teleológica?

9.3. SUBSUNCIÓN CIENTÍFICA

Como las explicaciones plenamente formuladas, científicas o no, satisfacen todas el mismo esquema lógico (cf. secs. 9.1 y 9.2), la lógica será incapaz de decirnos la diferencia entre una explicación científica y otra no-científica. Para recoger esta diferencia bastará con recordar que toda deducción se hace en algún contexto, y que la peculiaridad de la deducción científica es que tiene lugar en el marco de teorías científicas, adultas o no (cf. sec. 7.3). La explicación ordinaria, en cambio, se hace en el cuerpo del conocimiento ordinario, que es un mosaico incoherente y discontinuo. Esto sugiere la adopción de la siguiente *Definición 2*: Una *explicación científica* de una fórmula q es una respuesta a un problema científico bien planteado de la forma por-qué, y consiste en una argumentación que muestra que q se sigue lógicamente de una teoría científica (o un fragmento de teoría científica, o un conjunto de fragmentos de teorías científicas), hipótesis científicas auxiliares y datos científicos, ninguno de los cuales contiene a q .

Los datos que intervienen en una explicación científica serán elementos de información acerca de ciertas propiedades características del hecho que se quiere explicar. No todas las propiedades, lo cual sería imposible, e inútil incluso si fuera posible, sino sólo aquellas que son relevantes para las generalizaciones utilizadas. Por ejemplo, en la explicación de E por la argumentación “ $\{G, C\} \vdash E$ ”, y ‘ C ’ no referirá a un hecho entero, sino a un conjunto de propiedades de un hecho. Muy a menudo, C será un conjunto de determinados valores de algunas de las variables que se presentan en G . Así, por ejemplo, en el problema de la caída libre C será el par (posición inicial, velocidad inicial).

Éstas se llaman las *condiciones iniciales* del problema. Y en el problema, más complejo, de una cuerda vibratoria ideal, C será el conjunto de los siguientes elementos: la forma de la cuerda y su velocidad cuando se la suelta (condiciones iniciales) y la amplitud de la cuerda en los extremos fijos (*condiciones límite*). (Cf. fig. 9.1.) Son condiciones en el sentido de que tienen que quedar satisfechas por la solución general; en otro caso son datos (actuales o supuestos).

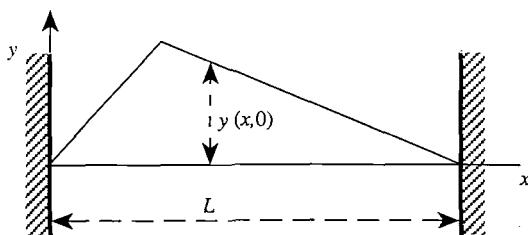


FIGURA 9.1. Condiciones iniciales y límite en el problema de la cuerda vibratoria. Condiciones iniciales:

$$y(x, 0) = f(x) \quad \text{y} \quad \frac{\partial y}{\partial t}(x, 0) = g(x). \quad \text{Condiciones límite: } y(0, t) = 0, \quad \text{e} \quad y(L, t) = 0.$$

En general, cuando se trata de problemas susceptibles de tratamiento cuantitativo, C constará de información relativa a las condiciones iniciales y límite, la cual será muy a menudo puramente conjetural, no leída en instrumentos. En cualquier caso, ' C ' no denota un acontecimiento íntegro, sino un conjunto de propiedades suficiente para caracterizar una determinada situación (por ejemplo, el estado inicial de una cinta elástica). C no puede ser una descripción completa de un acontecimiento íntegro, primero porque nunca es posible una tal descripción completa; segundo porque, de ser posible, sería un estorbo: necesitamos todos y sólo los datos que son relevantes para las generalizaciones utilizadas, y las leyes científicas no se refieren a hechos íntegros, sino a determinadas y seleccionadas propiedades de ellos (cf. sec. 6.1). Por otro lado, en contextos no científicos ' C ' puede referir a un hecho íntegro, por ejemplo, a la causa de E .

Para entender mejor las peculiaridades de la explicación científica analizaremos un caso que se encuentra al alcance del sentido común, de modo que puede plantearse con o sin teoría científica. Supongamos que alguien pregunta: '¿Por qué me sangró la nariz al subir aquella montaña de 5 000 metros?' Pueden concebirse varias respuestas de conocimiento ordinario, tantas cuantas clases de trasfondo cultural. Una de esas respuestas puede ser: 'Porque a mucha gente le sangra la nariz cuando sube a 5 000 o más metros'. Esto nos permite decir que es muy probable que a todo el mundo le sangre la nariz cuando se encuentra en la cima de una montaña de 5 000 metros. Será una explicación casual, pero no científica, porque no está inserta en ninguna teoría científica. Una respuesta científica a la cuestión empezaría por examinar críticamente el explicandum y, tras haberlo hallado verdadero o verosímil, procedería a construir un grosero *modelo ideal* de las partes relevantes del cuerpo, o sea, de la nariz y el sistema circulatorio. Idealizaría, por ejemplo, el sistema como si fuera una vasija con una abertura en la parte alta y prácticamente llena

de cierto líquido (cf. fig. 9.2). Ese modelo se trataría entonces mediante la teoría física ordinaria hidrostática) en combinación con el principio metafísico de la parsimonia de niveles. El derrame del líquido se explica fácilmente por la disminución de la presión atmosférica que mantiene el nivel del líquido. Una vez conseguida la explicación del hecho físico, lo aplicamos a la nariz que sangra, suponiendo que ese sangrar no es más que el derramarse de un líquido como consecuencia de su expansión por la disminución de la presión. De este modo se ha explicado un hecho biológico a base de conceptos físicos.

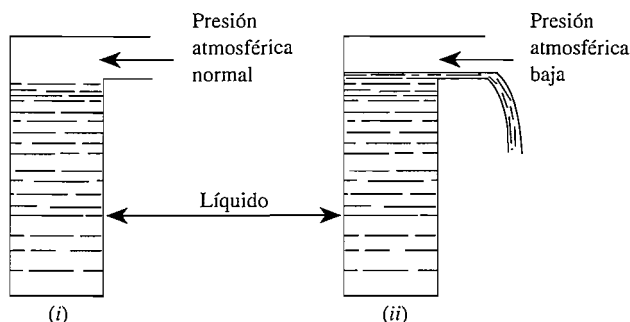


FIGURA 9.2. Modelo físico de la nariz: (i) a altitud normal; (ii) a altitud superior.

Obsérvense los siguientes rasgos de la anterior explicación científica de un hecho de la vida ordinaria. En primer lugar, lejos de ser *ad hoc* la explicación se aplica a un número ilimitado de ejemplos análogos, como el derramamiento de la tinta de las estilográficas cuando se viaja en un avión cuya cabina no esté presurizada; eso es, naturalmente, una consecuencia de haber insertado el problema dado en una teoría universal. En segundo lugar, la explicación ha supuesto la construcción de un modelo ideal de un sistema real, y precisamente un modelo que pudiera insertarse en una teoría existente, para lo cual se han tenido que eliminar la mayoría de las circunstancias que completaban el cuadro. En tercer lugar, la explicación es perfectible. Por ejemplo, con unas pocas premisas adicionales —entre ellas la ley que relaciona la altitud con la presión atmosférica, y la presión arterial del sujeto— podemos explicar por qué su nariz empezó a sangrar precisamente cuando alcanzó una determinada altura: o sea, podemos suministrar una explicación cuantitativa (y hasta una predicción) del hecho dado, en vez de una explicación cualitativa, si usamos generalizaciones y datos cuantitativos. Esas tres características —*universalidad*, *uso de modelo* y *perfectibilidad*— son peculiares a la explicación científica y tecnológica.

Además, con la adición de las premisas cuantitativas antes mencionadas podemos explicar por qué todas las personas de presión arterial inferior a la del sujeto dado *no* sangrarían en las mismas circunstancias del caso. Y este rasgo es también importante: nos interesa explicar ciertos hechos y explicar el que no ocurran otros hechos concebibles, o sea, nos interesa también dar respuesta a cuestiones del tipo ‘¿por qué no-*p*?’. Un caso de particular interés en el cual se pide la explicación de un *no-hecho* tiene lugar cuando, según nuestras teorías, debería ocurrir *p* y, sin embargo, la experiencia arroja tenazmente el

resultado no-*p*. Así, por ejemplo, un físico puede querer explicar por qué no se observa una determinada transición que debería ser posible según sus cálculos; el historiador militar preguntará por qué los mongoles detuvieron su victoriosa invasión de Europa, por qué los nazis no llevaron a cabo sus planes de invasión de una Gran Bretaña relativamente impreparada, etc. Las explicaciones de no-hechos pueden ser tan importantes como la investigación de lo que ocurre, ya porque indique una falta de condiciones necesarias para que ocurra el hecho correspondiente, ya porque apunte a una deficiencia de nuestro conocimiento; una tal deficiencia puede consistir en el desprecio de un factor que es suficiente para evitar que ocurra el hecho previsto. En este último caso la explicación del no-hecho exigirá un nuevo conjunto de premisas, o sea, estimulará la corrección de la teoría relevante y/o de la información relevante.

Consideremos ahora, en vez de un hecho aislado, una secuencia temporal de hechos singulares: por ejemplo, los sucesivos acontecimientos que constituyen la historia de una especie biológica o de una comunidad humana. Si la secuencia presenta algún esquema de orden en vez de carácter casual, hablamos de tendencia histórica —y confundimos a menudo tendencia con ley. (Sobre la diferencia entre tendencia y ley, cf. sec. 6.6.) El estudio continuado de un sistema, elemental o complejo, da su *historia* más que sus leyes. Es verdad que una historia —por ejemplo, el diagrama espacio-temporal de un electrón en un campo— puede analizarse y, por tanto, explicarse a base de las leyes del sistema; pero eso es otra cuestión. En todo caso, algunas historias, en vez de ser series temporales al azar, presentan tendencias determinadas. ¿En qué consiste la explicación de tendencias? Es esencialmente lo mismo que la explicación de hechos singulares. Por ejemplo, las tendencias evolutivas son parcialmente explicadas por la teoría de la evolución: esta teoría las explica con la ayuda de ciertas leyes de la genética y de la ecología. (Se discute acerca de si la teoría de la evolución contiene sustantivas *leyes de evolución*. En cualquier caso, sigue siendo un desideratum incumplido de la biología teórica (*i*) el establecer exactamente los supuestos iniciales de la teoría de la evolución y (*ii*) el deducir sus axiomas de los principios, más fundamentales, de la genética y la ecología.)

Pasemos ahora de los hechos y las secuencias de hechos a las generalizaciones sobre unos y otras. De hecho la mayoría de las explicaciones que se consideran explicaciones de hechos lo son de generalizaciones, y esto simplemente por la infracción lingüística que consiste en llamar *hechos* a todas las generalizaciones que nos parecen seguras. Cuando hace un momento preguntábamos por qué las narices sangran en las grandes alturas, no debíamos, en realidad, buscar explicación al *hecho* de que las narices sangren en esas circunstancias, porque no *hay* tal hecho: lo que podemos buscar es una explicación de la *generalización* empírica según la cual las narices sangran a grandes alturas. Lo mismo puede decirse de muchos llamados *hechos científicos*: no son sino generalizaciones de nivel bajo razonablemente establecidas (o, por el contrario, descuidadamente afirmadas sin contrastación).

Una explicación científica de tales generalizaciones de nivel bajo, por familiar que sea, puede resultar compleja o hasta inaccesible. Tomemos, por ejemplo, la familiar verdad según la cual la sed aumenta cuando se bebe agua del mar. La explicación corriente de esta generalización requiere un modelo fisiológico. Cuando se bebe agua marina una parte de ella pasa a la sangre; la gran concentración de sal produce, como reacción, una difusión de agua de los tejidos próximos a la sangre (ósmosis), como se muestra en la figura 9.3. Consecuente-

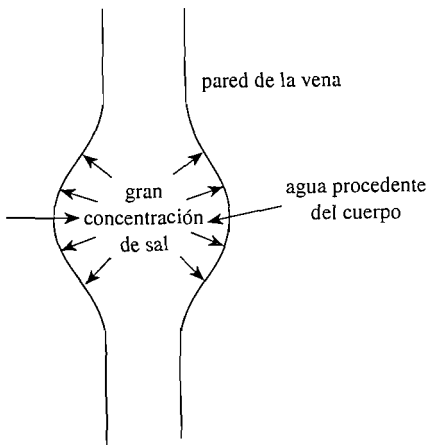


FIGURA 9.3. Un modelo para explicar la deshidratación de los tejidos del cuerpo. Las moléculas de sal que están en exceso no se difunden a través de las paredes de las venas, y ejercen una presión sobre ellas; esta presión adicional se equilibra por la del agua que se difunde en el sentido contrario.

mente, la sangre se hace más acuosa mientras se seca el protoplasma somático. Este hecho excita el hipotálamo, y la contrapartida psíquica de esa situación del sistema nervioso es la sensación de sed. La explicación de un “hecho” familiar (generalización de nivel bajo) ha requerido la construcción de una cadena de factores determinantes que arrancan del nivel físico y terminan en el psíquico de acuerdo con el principio metafísico de la contigüidad de niveles (cf. sec. 5.9). La tabla 9.2 resume el modelo supuesto en la explicación de esa generalización empírica. Se observará que la cadena de acontecimientos que se producen en los varios niveles parte de los niveles más bajos, pero no supone una reducción de la sed a la ósmosis ni tampoco a la consecuencia de ésta, la desecación del protoplasma: lejos de ser una explicación reductiva en sentido propio, la anterior explicación apela a ciertas particularidades de los varios niveles. Es una explicación multinivel. (En la sec. 9.5 se hablará más acerca de este punto.) Nuestro ejemplo presenta otra interesante característica: explica lo familiar por lo que no lo es, lo conocido por lo conjeturado; pero este rasgo, que es peculiar a la explicación científica, nos ocupará en la sección 9.4.

TABLA 9.2. DE LA HIDRATACION A LA SED

Explicación	Sed	Nivel psíquico
	Excitación del hipotálamo	Nivel biológico
	Deshidratación de las células	
	Difusión del agua	Nivel físico
	Presión osmótica	

La ciencia es, pues, en principio, capaz de explicar las generalizaciones empíricas, ya las del conocimiento ordinario, ya las que son propias de un estadio temprano de la investigación científica. Pero puede hacer más que eso: puede explicar leyes en sentido

propio, no sólo cualitativas, sino también cuantitativas. El esquema de la explicación de leyes es ligeramente diferente de la forma lógica de explicación de los hechos singulares, pero encaja dentro de la Definición 2 formulada al principio de esta sección. En realidad, una ley científica se explica *deduciéndola de otra(s) ley(es)*, acaso con la ayuda de *hipótesis subsidiarias*. Consiguientemente, el proceso de explicación científica tiene un límite dentro de cada teoría, pues no puede ir más allá de los axiomas de cada teoría. Los axiomas mismos no pueden explicarse más que subsumiéndolos bajo una teoría más general; pero en cada estadio de la historia de la ciencia la explicación está limitada por la teoría más rica que se posea.

Un caso históricamente importante de explicación de leyes es la derivación de la ley galileana de la caída libre de los graves en la mecánica de Newton, deducción que fue para ésta una de sus principales confirmaciones. La deducción se resume en el diagrama arborescente que se da a continuación. Se observará que las dos leyes de nivel más alto entre las supuestas no bastan para deducir la ley de Galileo. Se han añadido dos supuestos subsidiarios: el supuesto tácito de que la única fuerza activa es la gravedad y el supuesto explícito de que el cuerpo viaja una distancia despreciable en comparación con el radio de la Tierra, de tal modo que la distancia r entre el cuerpo y el centro de la Tierra pueda considerarse constante. Ambos supuestos son ficciones: el primero, porque en las

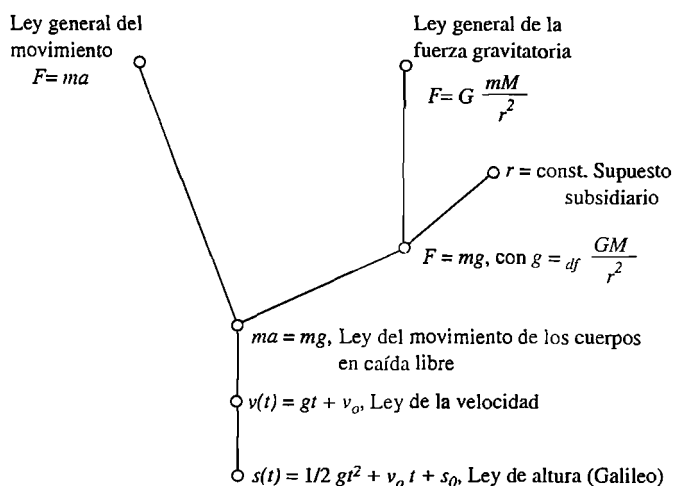


FIGURA 9.4. Deducción de leyes, de bajo nivel, de la caída libre a partir de leyes de nivel alto más supuestos subsidiarios.

situaciones reales siempre hay fuerzas que se añaden a la gravedad; el segundo es obviamente falso. El primero no es una premisa explícita, sino un presupuesto: no se presenta en la deducción misma, pero aparece en la elección de las premisas. Los dos son, pues, ficciones, verdaderas con cierta aproximación; son *supuestos subsidiarios* (no leyes) que regulan la aplicación de las leyes básicas. Generalizando y resumiendo, los esquemas de explicación científica que hemos encontrado hasta el momento son:

<i>Explicación de hechos</i> {Teoría, Datos} — Enunciado factual singular	[9.2.]
<i>Explicación de leyes</i> {Teoría, Supuesto(s) subsidiario(s), Datos} — Ley	[9.3]

El diagrama que ilustra la deducción de la ley de Galileo puede continuarse hacia arriba unos cuantos pasos más, a lo largo de la rama izquierda: la ley general newtoniana del movimiento puede deducirse de las ecuaciones de Lagrange, las cuales a su vez pueden derivarse del principio de acción estacionaria de Hamilton, deducible a su vez del principio de los desplazamientos virtuales de D'Alembert. (La deducción de la ley de Galileo a partir de la teoría general de la relatividad sigue un esquema distinto: el primer elemento del árbol de la deducción es en este caso una sola ecuación, especie de síntesis de la ley del movimiento y la ley de la fuerza. Pero también esta deducción necesita supuestos subsidiarios, ramas menores.)

El anterior esquema aclara la estructura de las *cuestiones científicas ascendentes*. Si nos preguntamos '¿Por qué este cuerpo concreto cae tantos metros en tantos segundos?' quedamos remitidos a la ley de Galileo, que es de bajo nivel. Si luego preguntamos por qué se cumple esa ley particular, quedamos remitidos a una entera teoría que contiene la ley newtoniana de la gravedad y la segunda ley del movimiento del mismo Newton. Y si preguntamos por qué se cumplen estas leyes se nos ofrecerán otras leyes de nivel más alto (generalmente llamadas *principios*). Esas leyes de nivel más alto se justifican porque dan un rico conjunto de leyes de nivel bajo, y éstas, a su vez, se justifican por su concordancia con los datos empíricos y por su compatibilidad con las restantes fórmulas de la teoría dada. El cuestionar científico ascendente se detiene al llegar a los supuestos de nivel más alto hechos hasta el momento: es una regresión finita con punto de partida variable.

Lo que caracteriza todo paso de una cadena explicativa, sea del tipo [9.2] o del tipo [9.3] es la *subsunción* de fórmulas bajo otras más fuertes. En la sección siguiente discutiremos si esto es todo en materia de explicación científica.

Problemas

9.3.1. Dar una explicación científica de un hecho de la vida cotidiana.

9.3.2. Un geólogo, al observar estrías horizontales en las murallas de un tajo o cañón, puede adelantar las siguientes hipótesis: (i) "En el pasado hubo un periodo durante el cual estuvieron congeladas todas las masas de agua de esta región; en particular lo estuvo el agua que se encontraba en el cañón (y era, por tanto, un glaciar)". (ii) "A partir de una cierta masa, la presión ejercida por el glaciar sobre el fondo del cañón fue tal que las capas del mismo en contacto con la roca empezaron a fundirse y el glaciar comenzó a deslizarse cañón abajo". (iii) "Durante ese deslizamiento, el glaciar dejó las estrías que aún son visibles en las rocas". Mostrar el esquema lógico de esa explicación y examinar la naturaleza de las hipótesis supuestas en ella.

9.3.3. Examinar la explicación científica del arco iris (o de cualquier otro fenómeno natural bien estudiado). Indicar las leyes básicas y los niveles supuestos por esa explicación. *Problema en lugar de ése*: Comparar la concepción contemporánea de la explicación con la que formula Aristóteles, a base de las cuatro causas, en el libro A de su *Metafísica*.

9.3.4. ¿Cómo pueden los peces gelatinosos tener una forma definida si constan de un 99% de

agua? Recordar que, desde el punto de vista físico, el protoplasma es un gel (algo como una gelatina). Mostrar qué modelo tiene la explicación.

9.3.5. Las leyes elementales del péndulo ideal, como “El periodo de oscilación es independiente de la amplitud de oscilación”, se siguen de la sencilla ley “ $T = 2\pi \sqrt{L/g}$ ”. A su vez, esta ley se sigue de la ley newtoniana del movimiento, con la hipótesis simplificadora de que las amplitudes sean pequeñas (hasta 20°, digamos). Mostrar qué esquema de deducción es ése.

9.3.6. Llevar a cabo un análisis lógico y epistemológico de la deducción de alguna ley científica. *Problema en lugar de ése*: Presentar un caso de explicación *reductiva* (como el de la nariz que sangra) y otro de explicación *no reductiva* (como el de la sed).

9.3.7. Examinar las siguientes explicaciones de la generalización histórica según la cual la cuna de toda civilización se encontraba en un medio árido o semiárido. (i) “Para conseguir algo hacen falta los medios materiales necesarios. Los lugares de origen de la civilización se encontraban en tierra blanda, fácil de labrar y de irrigar. Los factores geográficos eran más fáciles de controlar en ese ambiente que en las selvas tropicales, e incluso que en el llano”. (ii) “Todo logro es una respuesta a algún reto: no hay progreso sin dificultades. Los ambientes áridos o semiáridos en que se encontraron las cunas de la civilización constituían un reto que estimuló la laboriosidad y la inteligencia” (A. Toynbee). ¿Son esas explicaciones incompatibles? ¿Indican las condiciones necesarias y suficientes para el nacimiento de la civilización? ¿Qué dan por supuesto?

9.3.8. La explicación científica se llama muy a menudo *causal*. Este nombre estaría justificado si las generalizaciones o las informaciones utilizadas se refirieran a causas. ¿Ocurre eso en toda explicación científica, o con la mayoría de ellas al menos? Cf. M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 11.

9.3.9. En la sucesión de preguntas científicas llega un momento en el cual hay que aceptar, por el momento al menos, un conjunto de postulados y otro de datos. ¿Prueba eso que los postulados y los datos científicos no son gran cosa más que dogmas religiosos?

9.3.10. La filosofía de una teoría científica dada puede considerarse en cierto sentido como una explicación de esa teoría. ¿En qué sentido? ¿En el sentido de que la teoría dada sea lógicamente deducible de principios filosóficos, a la manera de Descartes?

9.4. EXPLICACIÓN MECANÍSMICA

Supongamos que alguien pregunta ‘¿Por qué me mintió *c*?’, y que obtiene la respuesta ‘Porque *c* miente a todo el mundo’. Sin duda es ésa una explicación pertinente y con sentido, pues consiste en subsumir el explicandum “*c* mintió a *d*” bajo la generalización “para todo *x*, si *x* es una persona diferente de *c*, entonces *c* miente a *x*”. La subsunción se hace a través de la información de que *d* es una persona (premisa circunstancial). Pero la respuesta ‘*c* le mintió a usted porque *c* miente a todo el mundo’ es idéntica con ‘*c* le mintió a usted porque *c* es un mentiroso’, de acuerdo con lo que puede ser una definición de ‘mentiroso’. Y éste es un caso de nominación, o sea, de pseudoexplicación (cf. sec. 9.2).

La explicación científica en general puede ser objeto de una crítica análoga, diciendo que aunque *da cuenta* del explanandum, no lo explica en realidad, salvo en el sentido pickwickiano de subsumir particularidades bajo generalidades. Y, efectivamente, si preguntamos ‘¿Por qué aumenta la resistencia puesta por la bomba de la bicicleta a medida que empujamos el pistón hacia el fondo?’, podemos recibir la respuesta de que la bomba

de aire “obedece” aproximadamente a la ley de Boyle. Igual podrían habernos dicho que la bomba se comporta así porque es una boyleana. También en este caso se nos ofrece una subsunción lógica del explicandum bajo una generalización, pero quedamos a oscuras por lo que hace al modo de acción o mecanismo de la interacción del pistón con el aire. La explicación subsuntiva, o sea, la subsunción de una singularidad bajo una generalización, huele a *explicatio obscurum per obscurius*, y no nos calma la sed de intelección. Esto no quiere decir que la ciencia sea incapaz de suministrar comprensión, ni que tengamos por ello que quedarnos en la oscuridad o fiarnos de alguna otra cosa –tal vez la intuición irracional– para conseguir una visión del “funcionamiento interno de las cosas”. Lejos de eso, la ciencia es el único modo de conocimiento capaz de suministrar la explicación más profunda que echamos a faltar; pero esa explicación no es del tipo subsuntivo.

Toda teoría científica suministra una explicación subsuntiva de un conjunto de datos, pero no toda teoría científica puede suministrar lo que en la ciencia se llama frecuentemente una *interpretación* de tales datos. Una teoría fenomenológica, que no represente ningún “mecanismo”, suministrará explicaciones subsuntivas; pero sólo las teorías representacionales, las teorías que intenten representar el *modus operandi* de sus referentes, puede dar explicaciones más profundas. Las llamaremos *explicaciones mecanísmicas*. Lo que los científicos suelen entender por ‘explicación’ no es la mera explicación subsuntiva, sino la explicación mecanísmica, como es la de la aceleración constante de un cuerpo en caída libre a base de un campo gravitatorio constante, o como la explicación de los olores de las cosas a base de la forma de sus moléculas y el modo como esas moléculas acceden a los receptores olfativos. En una fórmula práctica podemos resumir: del mismo modo que

Teoría representacional = *Sistematización deductiva* + *Mecanismo*,
así también

Explicación mecanísmica = *Subsunción* + *Modus operandi*.

Volvamos a la explicación del hecho de que la presión del gas se duplique al dividir por la mitad su volumen. El decir que ese hecho satisface la ley (fenomenológica) de Boyle, aunque es una afirmación correcta, no se considerará en la ciencia una explicación satisfactoria, sino sólo como una formulación y sistematización del hecho. Una explicación propiamente dicha, una explicación mecanísmica, contendrá la teoría molecular o cinética de los gases, la cual contiene a su vez las siguientes hipótesis básicas (axiomas) que van mucho más allá de las leyes de Boyle: “Un gas consiste en una colección de partículas (moléculas) de un tamaño despreciable en comparación con sus distancias recíprocas”; y “Las moléculas de gas se mueven constantemente al azar”. Partiendo de esos supuestos pueden derivarse las siguientes consecuencias (teoremas). Primero, si se interpone un obstáculo en la trayectoria de las moléculas, resultarán colisiones; en particular, las moléculas encerradas en un recipiente chocarán con sus tabiques y ejercerán una fuerza sobre éstos; la fuerza específica resultante (fuerza/área) es la presión del gas. Segundo: si disminuye el espacio disponible, el número de choques por unidad de área y tiempo aumentará; en particular, si el volumen se disminuye hasta la mitad, el número de choques se multiplicará por dos y consiguientemente la presión experimentará el mismo cambio (cf. fig. 9.5).

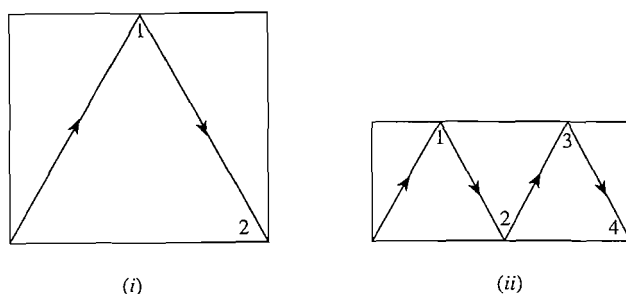


FIGURA 9.5. La presión de un gas se multiplica por dos cuando su volumen se reduce a la mitad, porque cuando se divide así el espacio disponible para el movimiento de las moléculas, se multiplica por dos el número de choques de las moléculas con los tabiques. (i) Volumen V : 2 choques por unidad de tiempo; (ii) Volumen $V/2$: 4 choques por unidad de tiempo.

La diferencia entre esta explicación mecanísmica y la correspondiente explicación subsuntiva se debe a la *interpretación* de una de las variables relevantes —como la presión— según conceptos referentes al nivel microscópico, en vez de tomarla como rasgo observado y sin analizar. Esta interpretación o análisis hipotético de una variable externa (observable) a base de una construcción hipotética (“choques moleculares”) nos permite entender por qué un gas ejerce alguna presión sobre los tabiques del recipiente que lo contiene, hecho que, en la exposición fenomenológica, hay que aceptar sin más. Esta ventaja psicológica de la explicación mecanísmica no se sigue de ningún especial rasgo lógico de este tipo de explicación: el esquema lógico de la explicación mecanísmica es el mismo que el de la subsuntiva. Lo que distingue la explicación mecanísmica de la subsuntiva es que la primera se consigue con la ayuda de algunas teorías acerca del mecanismo o *modus operandi* de los hechos. Dicho brevemente el esquema de la explicación mecanísmica es:

{Teoría mecanísmica, Información} — Explanandum [9.4]

En la sección 8.5 se dijo que las teorías representacionales (no fenomenológicas) son preferibles a las fenomenológicas porque son lógicamente más fuertes, semánticamente más ricas (tienen mayor contenido) y metodológicamente más rigurosas o exigentes. Añadiremos ahora que las teorías representacionales o “de mecanismo” suministran *explicaciones más profundas*. La razón de esto aparecerá al examinar un par de casos.

La deceleración de un cuerpo sólido que se mueve en un líquido puede explicarse a base de la viscosidad del líquido (o, lo que es lo mismo, a base de un coeficiente de resistencia al movimiento), o por la transferencia del momento de las moléculas del líquido a las del sólido. Ambas explicaciones son correctas, pero no son equivalentes: la última, que es mecanísmica, es más profunda porque alcanza un *nivel más profundo* de la realidad. La explicación a base del coeficiente de resistencia es poco más que una descrip-

ción exacta, mientras que la explicación molecular suministra el *modus operandi*; además, y en principio al menos, el coeficiente de resistencia puede deducirse de la teoría molecular.

Consideremos el envenenamiento, como segundo ejemplo. “Aquel hombre murió porque se tomó una dosis excesiva de estricnina”: ésa es una explicación subsuntiva que apela a una generalización del tipo “La estricnina a altas dosis es letal”. (En este punto hay que tener cuidado y no definir “dosis alta” mediante “dosis mortal”.) Podemos además recurrir a una relación precisa dosis-efecto, o sea, a una ley fenomenológica cuantitativa (del tipo *input-output*), consiguiendo así una explicación exacta. Pero mientras sigamos ignorando el mecanismo de la acción de la droga nuestro conocimiento no aumentará mucho. La necesidad de conseguir una explicación mecanísmica llevará, en el primer estadio, a averiguar que la estricnina inhibe los centros respiratorios del cerebro; la segunda tarea será averiguar los procesos bioquímicos causantes de esa parálisis; y esta segunda tarea es probablemente de las que se llevan a cabo gradualmente y no se terminan nunca del todo. Dicho sea de paso, si nos contentáramos con las explicaciones subsuntivas no rebasaríamos nunca la formulación de la relación dosis-efecto. No sólo la ciencia pura, sino también la tecnología (que en este caso quiere decir la farmacología y la medicina) se interesan por descubrir el mecanismo de la acción de la droga, aunque no sea más que para fabricar antidotos.

Nuestro tercer y último ejemplo procede de la historia económica, pues hay que evitar la impresión de que la explicación mecanísmica requiera siempre un mecanismo físico. Supongamos que el explanandum sea la tendencia media a la subida de los precios en Europa durante la segunda mitad del siglo xvi, fenómeno que terminó con toda una era de estabilidad en los precios. La subida del precio del trigo durante ese periodo podría explicarse subsuntivamente por referencia a la tendencia general, pero seguramente no se considerará que eso sea una explicación satisfactoria. Hay que tomar en cuenta el mecanismo que responde de la tendencia misma. Se han propuesto por lo menos dos hipótesis, que no son incompatibles, para explicar toda la tendencia inflacionista de la época: una es la introducción de grandes cantidades de oro y plata procedentes de la América española; la otra es la reconstrucción de los países arrasados por las guerras de religión y las guerras campesinas. Cada una de esas hipótesis, junto con la teoría económica, suministra una explicación de la subida de los precios, y cada una de ellas alude a algo que está a un nivel más profundo que el referente del explanandum.

La razón por la cual la explicación mecanísmica es más profunda que la subsuntiva es que la primera supone un *análisis más profundo*, el cual contiene a menudo referencias a niveles de la realidad distintos (y generalmente más profundos) del nivel al que pertenece el explanandum. En cambio, la explicación subsuntiva no supone más que relaciones entre entidades pertenecientes todas al mismo nivel. Así, por ejemplo, la teoría newtoniana de la gravitación explicará subsuntivamente la interacción gravitatoria entre dos cuerpos cualesquiera sin referirse más que a las masas de los cuerpos y a sus distancias recíprocas; por esta razón Newton sostuvo desconocer “la causa de la gravedad”. Descartes, en cambio, explicaría la interacción gravitatoria a base de un sutil éter fluido, Le Sage a base de partículas invisibles que chocan con los cuerpos macroscópicos, y la teoría clásica del campo gravitatorio apelará a este concepto (que es, en fin de cuentas, una sustancia sutil)

como medio por el cual obran los cuerpos: todas éstas son teorías representacionales, que suministran explicaciones mecanísmicas de la interacción gravitatoria, y aun intuitibles, en este caso. (La moderna teoría de la gravitación utiliza, además del concepto de campo, las invisibles tensiones internas a los cuerpos en interacción, particularmente para explicar la repulsión gravitatoria, llamada incorrectamente antigravedad.) La explicación mecanísmica explica las propiedades más visibles de los sistemas reales mediante hipótesis acerca de la naturaleza, la composición, la estructura y el comportamiento de sus constituyentes de bajo nivel. Un tal *análisis atomístico*, que subyace a la explicación mecanísmica, es el cumplimiento del programa de Demócrito, o sea, de la estrategia y el desideratum de explicar lo observable a base de lo inobservable, el dato a base de la hipótesis trascendente.

Cuanto más profunda sea una teoría, tanto más profundas son las explicaciones que puede suministrar. Del mismo modo que hay grados de profundidad de teorías (cf. sec. 8.5), así también hay grados de *profundidad de explicación*. La profundidad de explicación conseguida con una teoría semifemenológica estará a mitad del camino entre el mínimo alcanzado con una teoría fenomenológica y el máximo (provisional) alcanzado con una teoría representacional. Esta profundidad máxima alcanzable con una teoría dada no tiene por qué ser un máximo absoluto: lo más probable es que sea provisional, porque toda teoría representacional es en principio subsumible bajo una teoría más rica que penetre en más finos detalles del mecanismo. El que en un determinado momento no pueda imaginarse para un cierto campo una tal teoría más rica no implica que no pueda haber ese análisis más profundo que descubre, por así decirlo, los átomos que hay dentro de los átomos.

En cualquier caso, lo más corriente es encontrar un grado intermedio de explicación suministrado por alguna teoría semifemenológica, a mitad de camino entre la explicación superficial (exposición, *account*) dada por la teoría fenomenológica y la explicación profunda (mecanísmica) propia de la teoría representacional. Tomemos, por ejemplo, la doctrina de la difusión de las culturas. La hipótesis central de esa opinión antropológica e histórica es que todo rasgo o toda función culturales (por ejemplo, la técnica de irrigación, el sacerdocio, el sistema numérico) tiene un origen único (monogenismo) y se difunde a partir de su centro originario. Esta opinión suministra sin duda un mecanismo del cambio cultural, a saber, el mecanismo invención-adopción; es, además, un hecho que algunos cambios culturales conocidos se deben a importación. Pero esta teoría del cambio cultural, tal vez la más simple existente, deja sin explicar por qué hay tan gran variedad de niveles culturales, por qué algunas culturas son impermeables a ciertas corrientes culturales, mientras que otras las asimilan fácilmente, por qué algunos rasgos aparecen simultáneamente —o casi— en regiones muy distantes y carentes de relación, etc. El difusionismo, pese a no ser una teoría fenomenológica, no es del todo representacional, porque resulta demasiado simplista y superficial; maneja sobre todo caracteres culturales secundarios, no rasgos básicos, y por eso no indica los mecanismos básicos económico-sociales y psicosociales que pueden causar la aceptación o el rechazo de algún nuevo rasgo procedente de fuera, ni los mecanismos implicados en la invención independiente.

Ahora podemos ya plantear el aspecto psicológico de la explicación, esto es, la *comprensión*. En la vida ordinaria decimos que se ha entendido algo si se ha reducido a con-

ceptos familiares. Así, por ejemplo, decimos que entendemos la emisión de un fotón por un átomo en cuanto podemos refigurarlo como el disparo de una bala, o sea, por analogía con una experiencia familiar; análogamente sentimos que entendemos el dominio de una nación sobre otra porque nosotros mismos somos relata de la relación de dominio. Pero en ninguno de esos casos hemos establecido una auténtica explicación mediante esa mera alusión a analogías familiares; o sea: la explicación estricta no es necesaria para la comprensión. “Comprender” es un concepto psicológico, no un concepto metacientífico: es esencialmente relativo al sujeto. Una explicación será satisfactoria para un individuo en un momento dado si y sólo si ese individuo siente en ese momento que la explicación dada *satisface su propio esquema de las cosas*, esquema en gran parte compuesto por imágenes e inevitablemente cargado de prejuicios y restos de teorías ya muertas. La explicación conseguida de este modo es una *trivialización*, una reducción de lo no experimentado, lo no familiar y sorprendente, a lo experimentado, familiar y, por tanto tranquilizador, pero consiguientemente y al mismo tiempo limitado a la experiencia del sujeto. Éste es el tipo de explicación que buscamos en la vida cotidiana y en la enseñanza de la ciencia cuando dibujamos diagramas de ideas abstractas y modelos visuales de entidades invisibles.

El objetivo principal de la explicación científica es ampliar, profundizar y racionalizar el conocimiento ordinario. Lo que de ningún modo tiene lugar en ese proceso es una reducción a ideas populares y familiares. La explicación científica no hace concesiones a la comprensión, en el sentido de reducir lo no familiar a lo familiar, lo profundo a lo superficial o lo nuevo a lo viejo. Antes al contrario, la ciencia inventa nuevas construcciones trasempíricas de alto nivel para explicar fenómenos familiares. Así, la química explicará por qué el carbono tiene tan gran capacidad de combinarse con otros elementos, pero es incapaz de “hacernos comprender” por qué tiene que ser así. En resolución: la intelección científica no garantiza la comprensión en el sentido ordinario de esta palabra. Sólo el especialista familiarizado con las ideas técnicas supuestas en la explicación científica, sólo el especialista que se las ha “interiorizado”, puede pretender que ha conseguido una comprensión intuitiva de algunos (no todos) hechos e ideas. Y, recíprocamente, puede conseguirse comprensión intuitiva sin genuina explicación. Así, por ejemplo, podemos “entender” el comportamiento de otras personas en el sentido de que, lejos de sorprendernos, nos parezca “natural”, “obvio”, aunque ignoremos el mecanismo de esa conducta. Lo que pedimos a la ciencia es *inteligibilidad*, no comprensión intuitiva. Y para obtener inteligibilidad basta con asegurar la explicación subsuntiva, la cual puede suponer ideas abstractas y complejas.

Pero hay *grados de inteligibilidad*. Una teoría representacional, aunque sea (epistemológicamente) abstracta, suministrará un grado de inteligibilidad mayor que una teoría fenomenológica, especialmente si contiene un modelo intuible. Sin embargo, desde comienzos de siglo se ha puesto de moda el condenar las teorías representacionales en física, y muy particularmente las que permiten construir modelos gráficos o intuibles en general, como el modelo atómico planetario de Bohr. Por eso muchos científicos se han convencido de que su sola tarea consiste en elaborar teorías fenomenológicas capaces de resumir las observaciones y de predecir nuevos posibles resultados empíricos, sin preocuparse por una explicación interpretativa de lo que ocurre entre las observaciones o por detrás de lo observado. Si se les pide que expliquen un hecho, se precipitarán a calcular

ciertas variables a base de otras; ofrecerán explicaciones subsuntivas y si se insiste en pedirles una explicación más profunda a base de conceptos como estructura, interacción o movimientos no visibles por el momento rechazarán la cuestión por metafísica. Pero más de una gran teoría contemporánea ha supuesto algún mecanismo, y a medida que las cajas van haciéndose menos negras se consigue una intelección más profunda de su interior y de su funcionamiento interno. ¿Por qué rechazar toda comprensión intuitiva que pueda suministrar la ciencia legítimamente? En particular, ¿por qué rechazar los modelos gráficos o semigráficos mientras resulten ser aproximadamente verdaderos y no meros trucos didácticos? ¿Por qué vamos, en suma, a rechazar la comprensión intuitiva que llega algunas veces como fruto de una teoría profunda y compleja? ¿Sólo por rendir homenaje a calculadoras y a observadores sin pensamiento, así como a filósofos oscurantistas a quienes gusta concebir el universo como una caja negra? Lo único que hay que rechazar son las teorías representacionales o los modelos intuibles que sean incontrastables o patentemente falsos, así como las explicaciones a que dan lugar, naturalmente.

En suma: siempre que sea posible debemos esforzarnos por conseguir una explicación más profunda, que es la explicación mecanísmica, ya que ésta es el fruto de la teoría más profunda. Una explicación profunda suministrará siempre una intelección más profunda que la correspondiente explicación subsuntiva, y a veces puede producir incluso una comprensión intuitiva. Pero obsérvese que esta comprensión intuitiva, en el caso de que sea alcanzable, no podrá deberse ni a un abandono de la razón ni a una simplificación excesiva, sino que nacerá de una argumentación más racional, más compleja y que penetre más profundamente en la naturaleza de las cosas. Esa complejidad y esa profundidad culminan en la explicación mecanísmica de leyes y teorías, cosa a la que vamos a atender ahora.

Problemas

9.4.1. C. Bernard explicaba la toxicidad del óxido de carbono como resultado de su combinación con la hemoglobina, la cual, después de esa combinación, no puede ya transportar oxígeno. Analizar este caso desde el punto de vista de la distinción entre aplicación subsuntiva y explicación mecanísmica.

9.4.2. Según una descripción de la explicación que está muy difundida y es influyente, explicar consistiría siempre en hacer familiar lo que no lo es, en identificar lo nuevo con lo viejo, porque la identidad sería el núcleo de la razón. Cf., por ejemplo, E. Meyerson, *De l'explication dans les sciences*, París, Payot, 1921. Examinar esa doctrina.

9.4.3. ¿Cuál es la posición del holismo (la metafísica propia del vitalismo, el gestaltismo y el fenomenalismo) por lo que hace a los análisis atomísticos que requiere el programa democriteo?

9.4.4. La psicología asociacionista no indica ningún mecanismo por el cual dos o más estímulos se asocien en un animal. ¿Es deseable y posible una explicación interpretativa de la asociación? Si lo es, ¿de qué clase? Si no lo es, ¿por qué?

9.4.5. Examinar la tesis de que la personalidad humana no puede entenderse sino intuitivamente y, por lo tanto, la psicología humana tiene que ser una disciplina “comprensiva” (*verstehende Wissenschaft*) y no una ciencia explicativa (*erklärende Wissenschaft*). Averiguar cuáles son los hallazgos de esta escuela.

9.4.6. ¿Qué es lo que distingue la comprensión especializada conseguida gracias a la familiaridad con teorías profundas (representacionales) de la comprensión intuitiva (*Verstehen*) exigida por ciertas escuelas en la psicología y la sociología?

9.4.7. A menudo se dice que una explicación no es necesaria más que cuando se presenta un conflicto entre un hecho nuevo y sorprendente y una convicción anterior: por ejemplo, cuando se observa que una persona ordinariamente pacífica actúa agresiva o audazmente. ¿Es ése también el caso de la explicación científica?

9.4.8. Cuando un lingüista afirma que una gramática dada “explica” los datos de una lengua ¿usa la noción de explicación interpretativa o la de subsunción? Y ¿qué noción de explicación emplean los psicolingüistas y sociolingüistas?

9.4.9. Estudiar la relevancia –favorable, desfavorable o nula– de las varias clases de simplicidad por lo que hace a la explicación. En particular, averiguar si debe preferirse siempre la explicación más simple. Pero antes de realizar esa tarea hay que aclarar qué clase(s) de simplicidad (formal, semántica, epistemológica, pragmática) se está teniendo presente. Si sólo se trata de simplicidad formal, precisar si se refiere a las premisas del explicans, a la derivación o a ambas cosas. *Problema en lugar de ése*: La referencia a otro nivel, ¿es necesaria o sólo suficiente para producir una explicación interpretativa?

9.4.10. Existen en lo esencial dos “explicaciones” del supuesto fenómeno de la transmisión del pensamiento. La una consiste en el supuesto de una acción directa de mente a mente sin medio físico ni mecanismo mediador. La otra es la hipótesis de la “emisión” o del “campo”, que supone una sustancia u onda de alguna clase aún por especificar. La primera es la doctrina ortodoxa; la mayoría de los parapsicólogos rechazan la segunda. ¿Por qué? ¿Debemos preferir la segunda hipótesis por el hecho de ser representacional? *Problema en lugar de ése*: Hay en lo esencial dos clases de teoría electromagnética: la de Ampère (acción directa entre las partículas) y la de Faraday (acción por contacto a través de un campo). Examinar las clases de explicación que suministran, averiguar si tienen el mismo alcance y si las teorías de la acción a distancia son en realidad independientes de las teorías del campo.

9.5. *EXPLICACIÓN MECANÍSMICA Y REDUCCIÓN A LEYES

Lo que hemos dicho hasta ahora acerca de las explicaciones subsuntiva y mecanísmica de los hechos puede ampliarse, *mutatis mutandis*, a la explicación de enunciados legaliformes y sistemas de ellos, o sea, teorías. La derivación de una ley a partir de un conjunto de leyes y algunos supuestos subsidiarios (cf. sec. 9.3) puede considerarse como una explicación subsuntiva de la ley dada. Si esa deducción no hace ninguna referencia a un nivel real más bajo, entonces es un proceso puramente lógico que no explica cómo se produjo la estructura en cuestión. Dicho de otro modo: la explicación subsuntiva de una fórmula legaliforme no da razón del *origen del esquema o estructura nómica* al que se supone refiere la fórmula. En cambio, la explicación mecanísmica de las leyes da razón del nacimiento de tales estructuras.

Podría pensarse que la tarea de explicar el origen de estructuras nómicas no tiene realización posible, o incluso que “carece de sentido”, que las leyes son lo que son y no hay más que decir. Pero toda inteligencia crítica debe desconfiar de las ultimidades ontológicas que se le ofrezcan, y puede justificar del modo siguiente la búsqueda de ex-

plicación mecanísmica de las leyes científicas. Si las leyes objetivas son esquemas de los hechos, si no son decretos caprichosamente dictados sobre la realidad, sino el armazón de ésta, entonces tiene sentido preguntarse cómo se ha producido una determinada ley objetiva, por ejemplo, un determinado esquema de composición química. Esto es parte de la amplia cuestión que pregunta cómo ha llegado el mundo a ser lo que es ahora. (Cuestión que no tiene nada que ver con la pregunta mal planteada ‘¿Por qué hay un mundo?’) Dicho brevemente: una vez descubierta una ley, parece legítimo buscar el *mecanismo* de su producción, si lo hay. Sería tan dogmático negar a priori que pueda haber tal producción u origen (por lo menos en el caso de leyes suprafísicas) como mantener que todas las leyes, incluyendo las físicas, deben ser de tipo mecanísmico.

Ahora bien: la producción puede partir de un nivel coexistente (inferior o superior) o de un estadio previo de un proceso. Consiguientemente, y por lo que hace a su alcance ontológico, la explicación mecanísmica de leyes puede ser de una de las clases siguientes: (i) basada en diferentes niveles coexistentes, o (ii) histórica. Se tiene una explicación de la primera clase cuando se muestra que una ley nace de estructuras que caracterizan un nivel *coexistente* inferior o superior, como es, por ejemplo, el caso cuando se explican leyes de la tensión social a base del conflicto de objetos económicos y culturales, o cuando se explican esquemas de disminución de la tensión social a base de la aceptación de nuevos sistemas de hábitos e ideas. La explicación mecanísmica histórica consiste por su parte en trazar la *evolución de una ley*, mostrando cómo surgió en el curso del tiempo a partir de estructuras que caracterizaban estadios anteriores en un proceso evolutivo; así se hace al dar explicación histórica a esquemas de comportamiento social. Examinemos una tras otra esas dos clases de explicación mecanísmica.

La explicación más frecuente de las leyes es a base de niveles inferiores; tal es particularmente el caso de la explicación de macroleyes en función de microleyes. Han sido casos importantes de esta clase: (i) la explicación de las leyes de los rayos de luz a base de las leyes de la interferencia, o sea, la explicación de la óptica geométrica por la teoría ondulatoria de la luz; (ii) la explicación de algunas leyes de la termodinámica por la mecánica estadística de las moléculas; (iii) la explicación de las leyes de la combinación química a base de las leyes de la física atómica; (iv) la explicación de las leyes de la herencia a base de las leyes que “gobiernan” el comportamiento de los genes, y el de estos últimos, a su vez, a base de las leyes que “rigen” el comportamiento de las moléculas de ADN. En todos esos casos el comportamiento según leyes de un todo (rayo de luz, sistema termodinámico, molécula, organismo) o, por mejor decir, de algunos de sus aspectos, se explica como resultado del comportamiento según leyes de todas sus partes o algunas de ellas. Dicho brevemente: se muestra que las macroestructuras nacen de microestructuras.

Una clase muy moderna, y también muy importante, de explicación de leyes con dos niveles coexistentes es la *explicación estadística*. Se trata en sustancia de la explicación de una regularidad propia de un determinado nivel como resultado del juego al azar de un gran número de entidades de un nivel inferior, como ocurre cuando se explica la imantación de una pieza de hierro como resultado macroscópico de la fuerza ejercida por un campo externo sobre los pequeños imanes, inicialmente orientados al azar, que constituyen el cuerpo macroscópico. La explicación estadística requiere el *supuesto del azar* (que resulta de la independencia o casi-independencia recíproca de los componentes in-

dividuales) y el conocimiento de las leyes *no-estadísticas* que se refieren a los componentes individuales. Dicho de otro modo: la explicación estadística consiste en la derivación de leyes colectivas a partir de las leyes individuales que “rigen” el comportamiento de los miembros de un agregado estadístico.

Las leyes de los miembros del agregado estadístico pueden ser a su vez no probabilistas (“deterministas”) o probabilistas (“indeterministas” o estocásticas), pero no pueden ser estadísticas, porque no hay estadística sin agregado estadístico. Ejemplo de explicación de leyes estadísticas a base de leyes individuales no probabilísticas es la derivación de algunas leyes termodinámicas a base de las leyes de la mecánica clásica aplicadas a un gran número de moléculas prácticamente independientes. Ilustración de la explicación de leyes estadísticas a base de leyes individuales probabilísticas son las leyes de cifras medias derivadas sobre la base de la mecánica cuántica; entre esas leyes derivadas encontramos la segunda ley newtoniana del movimiento. (Hay que precisar que no toda ley de la mecánica cuántica es probabilística o estocástica; así, por ejemplo, las fórmulas de los niveles de energía de los sistemas estables no son probabilísticas. Las leyes probabilísticas de la mecánica cuántica toman una *interpretación* estadística cuando se aplican a un conjunto de sistemas análogos o a un conjunto de observaciones análogas sobre un solo sistema. Lo interesante es comprobar que Probabilístico $\neq$ Estadístico.)

En cualquier caso, una explicación estadística consiste en mostrar cómo se producen regularidades colectivas a partir del comportamiento individual según leyes a un nivel diferente, ya sean “determinísticas” o estocásticas las estructuras de ese comportamiento individual. Dicho de otro modo: una explicación estadística consiste en descubrir cómo se producen estructuras colectivas (estadísticas) por el juego de numerosos individuos de una determinada clase (moléculas, personas, etc.). Tales estructuras surgen cuando se neutralizan unas a otras ciertas variaciones individuales para constituir *promedios estables*, de tal modo que (en el macronivel) pueden despreciarse las primeras y atenderse sólo a los últimos. Brevemente: las leyes estadísticas se originan cuando hay azar en algún respecto, por ejemplo, en las trayectorias individuales de las moléculas de un gas, o en la distribución de los genes en la fecundación de un huevo.

Supongamos, para ilustrar esta materia, que nuestra generalización estadística (el explanandum) sea “Aproximadamente la mitad de los recién nacidos son niñas”. Podría obtenerse una explicación estadística simplificada de esa ley a lo largo de la siguiente línea de pensamiento:

A1 Toda célula somática de la mujer contiene un par de cromosomas sexuales idénticos, XX. (Ley individual que vincula tres niveles: el del organismo, el celular y el cromosómico.)

A2 Toda célula somática del hombre contiene dos cromosomas sexuales diferentes: XY. (Lo mismo que la ley anterior.)

A3 Toda célula sexual humana (gameto) resulta de la división de una célula somática en dos partes, cada una con un cromosoma sexual. (Ley individual que enlaza los niveles celular y cromosómico.)

A4 La unión de un gameto masculino y uno femenino en un huevo (zigoto) es independiente de su contenido cromosómico, o sea, que es genéticamente al azar. (Hipótesis de la combinación genética al azar.)

T1 (de A1 y A3). Toda célula sexual (gameto) femenina contiene un cromosoma X.

T2 (de A2 y A3). De las dos células sexuales (gametos) masculinas que resultan de la división de una célula somática, una contiene un cromosoma X y la otra un cromosoma Y.

T3 (de A4, T1, T2 y la teoría elemental de la probabilidad). La probabilidad de un huevo XX es la misma que la probabilidad de un huevo XY, e igual a $1/2$ (cf. fig. 9.6).

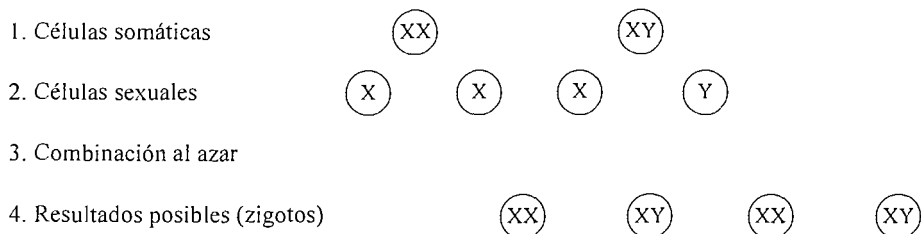


FIGURA 9.6. Explicación estadística de la composición de una población humana (mitad hombres, mitad mujeres).

T4 (de T3 y el teorema de Bernoulli sobre los grandes números). Aproximadamente la mitad de los huevos fecundados producidos por una gran población es del tipo XX (femenino), y la otra mitad del tipo XY (masculino).

Insistimos en que A1 y A2 son leyes de *tres niveles* y referentes a individuos; A3 es una ley de *dos niveles* referente también a individuos; y A4 es una ley de dos niveles relativa a la construcción de un agregado de microentidades. T1, T2 y T3 son leyes individuales inter-nivel; T1 y T2 son no-probabilistas, T3 es probabilista. De los cuatro axiomas sólo A4 contiene el concepto de azar, que permite aplicar la teoría matemática de la probabilidad. Por último, T4 es una ley estadística inter-nivel. La palabra ‘aproximadamente’ que se presenta en ella es típica de los enunciados de leyes estadísticas; significa que el porcentaje de huevos fecundados del tipo femenino no es exactamente $1/2$, sino que oscila en torno de ese valor. Toda discrepancia respecto de ese valor será provisional; si se hallara un día una desviación sistemática y duradera respecto de la composición $1/2$ - $1/2$, habría que admitir la presencia de un mecanismo sobrepuesto a la combinación genética. En todo caso, T4 da prácticamente lo que queríamos. Para obtener el explicandum, que se refiere a niños recién nacidos, y no a cigotos, basta ya con introducir la ley embriológica “Todo individuo humano se desarrolla a partir de un huevo fecundado”. Esto más T4, o sea, dos leyes inter-nivel, da nuestra generalización estadística, que es de un solo nivel.

La explicación estadística es, pues, una *explicación mecanísmica e internivel*. Es una clase de explicación de leyes, no una explicación de hechos individuales con la ayuda de leyes estadísticas. Hay que subrayar este extremo porque frecuentemente se encuentra la errada suposición filosófica de que cuando los científicos hablan de explicación estadística están pensando en la subsunción de una proposición universal bajo una generalización estadística, según el esquema:

Casi todo A es B

c es un A

[9.5a]

c es casi ciertamente un B

o, acaso, de acuerdo con el esquema algo más refinado:

Una fracción f de los A son B

c es un A

[9.5b]

la probabilidad de que c sea un B es igual a f

Ese esquema, llamado *silogismo estadístico*, es análogo al esquema de explicación “ $\{G, C\} \vdash E$ ”, pero no es propiamente una explicación, porque no es una argumentación deductiva válida. El supuesto explanandum no se sigue, en efecto, de las premisas indicadas. Ni puede seguirse, aunque no sea más que porque el explanandum es un enunciado teórico que contiene el concepto teórico de probabilidad, mientras que las premisas pseudoexplicativas, tal como se presentan, pueden perfectamente ser una generalización empírica (“Una fracción f de los A son B”) y una proposición empírica singular (“ c es un A”). El explanandum es un enunciado probabilístico, y los enunciados probabilísticos no están implicados más que por otros de la misma naturaleza.

Los esquemas [9.5] y [9.6] no son explicaciones; ni son tampoco “argumentaciones inductivas”, porque no consisten en generalizaciones basadas en casos observados. Son esquemas de *inferencia estadística* y, más precisamente, [9.6] ejemplifica la inferencia siguiente:

Regla 1. Si un individuo pertenece a una cierta clase [la clase de referencia, A] que se solapa con otra clase [la clase atributo, B] en la medida f [o sea: la medida de $A \cap B$ respecto de A es igual a f], puede atribuirse a ese individuo la probabilidad f de pertenecer a la clase atributo.

Dicho de otro modo: si la frecuencia relativa observada de los B en una clase A es f , asígnese a todo miembro de A la probabilidad condicional $P(B | A) = f$. Esta regla de inferencia nos permite pasar de una *frecuencia observada* (que es una propiedad colectiva) a una *probabilidad hipotética* (que es una propiedad individual): la regla es, pues, un puente entre la observación y la teoría. Su dual, que nos permite predecir frecuencias observables a partir de probabilidades calculadas, es:

Regla 2. Si un individuo de la clase A tiene la probabilidad $P(B | A) = p$ de pertenecer también a la clase B, tómese p como estimación de la frecuencia observable f de su pertenencia a la intersección de A y B.

La Regla 2 salva el hiato entre las hipótesis estocásticas interpretadas y sus teorías, por un lado, y la contrastación estadística correspondiente por otro. Pero, al igual que en el caso de la Regla 1, lo que aquí tenemos es una *regla falible de inferencia no-deductiva*; no tenemos una explicación.

Lo que los científicos llaman *explicación estadística* de una ley es la explicación mecanísmica de una ley en términos de las pautas de conducta de los miembros de un agregado estadístico. Dicho de otro modo: la explicación estadística de una ley es una

argumentación que muestra que, lejos de ser fundamental, la ley en cuestión es *derivada* y, además, debe su existencia al juego casual de entidades individualmente determinadas. (Dicho sea de paso, siempre que es posible derivar una macroley a partir de microleyes es posible también calcular la probabilidad de cualquier desviación dada respecto del actual curso de la naturaleza; la deducción se hace a partir del comportamiento medio previsto por la macroley. Esa probabilidad puede entonces considerarse como medida del error de la macroley respecto de las correspondientes microleyes.)

Digamos ahora algo acerca de la explicación histórica de las leyes, o sea, la explicación del origen de ciertas pautas que caracterizaban estadios previos de un determinado proceso. Este tipo de interpretación es menos frecuente que la expretación inter-nivel, pero no tan insólito como a veces se cree. En realidad, el objetivo último del estudio de la evolución de cualquier cosa es descubrir la evolución de las estructuras nómicas. Así, por ejemplo, el estudio de la evolución del aprendizaje es esencialmente una investigación de la transformación de sus pautas, o sea, de la modificación de viejas estructuras y la producción de otras nuevas estructuras de aprendizaje. La ontogénesis de esas estructuras en el ser humano, desde la adaptación automática hasta el procedimiento por ensayo y error, y desde éste hasta el aprendizaje conceptual, es cosa conocida por todos los padres; menos familiar es el mecanismo de este desarrollo individual. Y aún menos conocida, aunque es objeto de activa investigación, la filogénesis de las estructuras de comportamiento. Parece obvio que este estudio tiene que acompañar al de la evolución biológica, especialmente porque el aprendizaje es un rasgo de la vida animal y una condición de la supervivencia. Es menos obvio, pero también verosímil, que la evolución del aprendizaje no pueda *reducirse* a la evolución biológica, porque sabemos que no todo gran progreso biológico ha redundado en un perfeccionamiento de las estructuras del aprendizaje. Así, por ejemplo, los anfibios y los reptiles no parecen tener una capacidad de aprendizaje superior a la de los peces; en cambio, aunque la anatomía del hombre difiere muy poco de la de los monos, parece justificado considerarnos equipados con una capacidad de aprendizaje (y de olvido) no sólo cuantitativa, sino también cualitativamente diferente de la de nuestros primos pobres.

Acabamos de indicar que la evolución de las pautas del aprendizaje no parece *reducible* a la evolución biológica. Y antes vimos, en la sección 9.3, que otras pautas, como la del sangrar de la nariz a gran altura, son en cambio reducibles; dejando aparte las consecuencias biológicas de ese sangrar la nariz, se trata básicamente de lo mismo que en el descargarse la pluma a esas alturas: el fenómeno no tiene en sí mismo nada peculiarmente biológico. En general, una *explicación reductiva* es una argumentación que muestra que un hecho (o una generalización) que pertenece aparentemente a un determinado nivel de la realidad (por ejemplo, al nivel de la vida) no es sino un hecho (o una generalización) perteneciente a otro nivel (por lo común inferior).

La reducción consiste, pues, en explicar *eliminativamente*, mostrando que son pura apariencia, las peculiaridades atribuidas a hechos o a generalidades que, a primera vista, se habían considerado exclusivas de un determinado nivel, pero que, contempladas más de cerca, resultan pertenecer a un nivel diferente. Así, por ejemplo, cuando damos razón del comportamiento animal a base de reflejos explicamos eliminativamente la inteligencia animal o, lo que es lo mismo, la reducimos a un sistema de automatismos: practica-

mos una *reducción a nivel inferior*. Y cuando argüimos que las calculadoras automáticas parecen inteligentes sólo porque las han planeado, construido y programado seres humanos de un modo inteligente, estamos explicando eliminativamente la inteligencia de los autómatas, pero practicando en este caso una *reducción a nivel superior*.

La clase de las ontologías mecanicistas puede considerarse como un conjunto de programas para la explicación reductiva de todo hecho a base de hechos pertenecientes al nivel físico y por medio de una reducción de propiedades y leyes. Las propiedades se reducirían por medio de definiciones explícitas de las propiedades de nivel alto a base de propiedades físicas, y las leyes se reducirían mediante la reducción de leyes no-físicas a partir de leyes físicas. La clase de las ontologías espiritualistas, por su parte, puede considerarse como el conjunto de los programas de explicación (o, más propiamente, oscurecimiento) reductiva al nivel más alto. Pero esta reducción no se hace por medio de una reducción cuidadosa y exacta de propiedades y de sus relaciones (leyes), sino de un modo global, grosero y confuso.

Un vistazo a la historia de la ciencia basta para convencer a cualquiera de que de los dos programas reductivistas extremos, el mecanicismo y el espiritualismo, el primero ha sido fecundo, mientras que el segundo ha sido estéril, cuando no destructivo, y no ha medrado más que al amparo de los fracasos del mecanicismo. Pero la fecundidad es un síntoma de la verdad. Los fallos de cualquier programa de conocimiento pueden ser simples dificultades transitorias; mas en el caso del reductivismo mecanicista sus fallos pueden explicarse como debidos a un error que le es fatal. El error consiste en creer que toda reducción *lógica* —como una definición o una deducción— es garantía de una reducción *ontológica*, o sea, de una eliminación de niveles. De la igualdad numérica entre la energía cinética media de un conjunto de moléculas y la temperatura del mismo no podemos inferir que “en el fondo” la temperatura “no es sino” una propiedad mecánica microscópica, del mismo modo que la intercambiabilidad de ‘Platón’ y ‘el discípulo de Sócrates’ no nos autoriza a inferir que “en el fondo” Platón estaba ya contenido en Sócrates o que “no era sino” un discípulo de Sócrates. Establecer relaciones entre conceptos no es lo mismo que eliminar unos de ellos en favor de las restantes propiedades.

Por ejemplo, puede intentarse explicar el interés del lector por la filosofía —que es una propiedad mental, ψ — como una función F de un complejo de propiedades biológicas, β , y otro complejo, σ , de variables socioculturales: $\psi = F(\beta, \sigma)$. Si ψ pertenece al nivel n -ésimo, β pertenece al nivel $(n - 1)$ -ésimo, y σ al nivel $(n + 1)$ -ésimo. Pero el descubrimiento de esa relación no nos autorizaría a decir que hemos *reducido* ψ a β y σ ; lo que podemos decir es que hemos conseguido una *explicación inter-nivel no-reductiva*; lo que se logra así no es eliminar la emergencia sino explicarla. Y el establecer una tal relación entre niveles diferentes es seguramente más valioso e interesante que dejarlos sin relacionar o rebajarlos al nivel inferior o disiparlos en el superior (cf. fig. 9.6).

La *reducción propiamente dicha* no debe pues confundirse con la simple relación inter-nivel. Propiedades y leyes se encuentran propiamente reducidas a otras propiedades y leyes si se muestra que son de hecho *las mismas*, a pesar de la apariencia en contra. Y una teoría queda propiamente reducida a otra teoría si se prueba que la reducida es una *subteoría* de otra teoría más rica (a la que se reduce la primera), de tal modo que las leyes de la teoría reducida resultan encontrarse entre las de la teoría reductora. (Sobre el concepto de

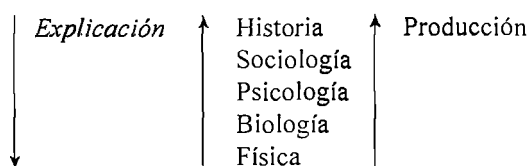


FIGURA 9.7. Explicación internivel, o vinculación de leyes y teorías de un nivel a leyes y teorías de uno o más niveles diferentes.

subteoría: sec. 7.3, Teorema 1.) Dicho de otro modo: la reducción propiamente dicha se cumple sólo en el caso de que una teoría esté incluida en otra, con lo que la primera podrá reducirse de la segunda, como ocurre a la estática respecto de la dinámica, y en algunos otros casos. Cualquier otra relación entre teorías requiere hipótesis adicionales.

Algunos importantes casos de interrelación entre teorías frecuentemente confundidos con reducciones son el isomorfismo, el solapamiento parcial de la base predicativa y el solapamiento parcial de la base axiomática.

Si dos teorías son *isomórficas* tienen la misma estructura subyacente, pero no todas sus primitivas tienen la misma interpretación en las dos teorías o modelos. (No vale la afirmación recíproca: a menudo ocurre que una teoría abstracta, como, por ejemplo, la teoría de grupos, tiene modelos no-isomórficos. Sólo son isomórficas las interpretaciones de teorías categóricas.) Un caso importante y de interés en este respecto es la relación que existe entre la mecánica matricial y la mecánica ondulatoria: esas dos teorías son isomórficas, pero algunos de sus símbolos primitivos tienen significaciones diversas; eso hace que las dos teorías sean matemáticamente equivalentes, pero físicamente no equivalentes. Consideremos ahora el caso de dos teorías que no se encuentren en la relación de inclusión, pero tengan sin embargo en común algunos conceptos básicos (*solapamiento parcial de las bases predicativas*).

En principio podrán establecerse relaciones entre los dos conjuntos de predicados, utilizando los conceptos comunes a ambos conjuntos como eslabones de enlace; por tanto, es posible en principio construir una entera tercera teoría que constituya un puente entre las dos viejas, o incluso que englobe a ambas. Tal es el caso de la electrodinámica respecto de la dinámica y la teoría electromagnética.

Por último, dos teorías pueden presentar un solapamiento parcial no sólo por tener en común algunos predicados, sino también por coincidir en algunos enunciados (*solapamiento parcial de las bases axiomáticas*). Por ejemplo, la mecánica cuántica conserva en su base axiomática algunos enunciados legaliformes clásicos (referentes, por ejemplo, a la relación entre energía y momento). En ninguno de los tres casos hay reducción propiamente dicha; en ninguno de ellos podemos decir con propiedad que una de las teorías se haya reducida a la otra. De las tres relaciones que hemos indicado sólo la primera —isomorfismo— se ha estudiado con detalle, a causa de su interés matemático y lógico. La determinación de las efectivas relaciones formales y semánticas entre las existentes teorías factuales es un problema aún abierto y, pese a su importancia, no ha pasado aún del mero planteamiento.

En resolución: a menudo es posible construir una explicación mecanísmica de leyes.

Una tal explicación introduce la hipótesis ontológica de la estructura multi-nivel de la realidad (cf. sec. 5.9). Y esa hipótesis es la única que parece capaz de explicar (i) por qué tenemos ciencias distintas para el estudio de los sistemas físicos, los organismos y las sociedades, respectivamente, y (ii) el hecho de que esas ciencias, distintas y separadas, están de todos modos interrelacionadas.

Problemas

9.5.1. Ejemplificar explicaciones mecanísticas de un solo nivel y de nivel nuevo.

9.5.2. ¿Consideraríamos las siguientes generalizaciones estadísticas como leyes fundamentales (irreducibles o, por lo menos, irreducidas), o nos preguntaríamos por el mecanismo de su producción? (i) “En todo país, la razón entre los niños recién nacidos y las niñas recién nacidas aumenta durante las guerras o inmediatamente después de ellas”. (ii) “Los niños nacidos en otoño o en verano tienden a ser más inteligentes que los demás”. (iii) “Los hijos de padres inteligentes (estúpidos) tienden a ser menos inteligentes (estúpidos) que sus padres.”

9.5.3. La primera ley de Kirchhoff sobre las redes eléctricas –“La suma algebraica de las intensidades de la corriente en cada nudo de una red es cero”– se sigue del principio de conservación de la carga eléctrica, el cual vale a su vez para cargas elementales (electrones). Examinar la derivación y comentarla. *Problema en lugar de ése*: Hacer lo mismo con cualquier otro enunciado legaliforme.

9.5.4. Comentar las siguientes observaciones de C. A. Coulson en “Present State of Molecular Structure Calculation”, *Reviews of Modern Physics*, 32, 170, 1960, p. 173: mientras que algunos químicos se interesan sobre todo por la precisión de los datos y las operaciones, otros se interesan en primer término por la explicación. Por ejemplo, estos últimos “desean saber por qué es tan fuerte el vínculo HF cuando es tan débil el vínculo FF. En cuanto a las mediciones exactas, las dejan en manos de los especialistas en espectroscopia y físico-química; lo que ellos esperan es que el especialista en mecánica cuántica explique *por qué* existe esa diferencia”. La explicación no debe ser que la calculadora electrónica muestra que las energías de combinación son más fuertes en el caso HF que en el caso FF. “Una explicación aceptable tiene que basarse en las repulsiones entre electrones que no se vinculan, en las fuerzas de dispersión entre los núcleos atómicos, en la hibridización y en el carácter iónico”. Analizar este texto utilizando los conceptos de teoría representacional y explicación mecanística.

9.5.5. Los psicólogos han distinguido a menudo entre dos llamados tipos de explicación científica: explicación *reductiva* (por referencia a niveles inferiores) y explicación *constructiva* (a base de construcciones de nivel superior). ¿Se trata realmente de dos tipos de explicación? ¿No se hace toda explicación científica del comportamiento cotidiano individual a base, a la vez, de una referencia a dos niveles diferentes (el fisiológico y el social) y de construcciones teóricas?

9.5.6. Examinar las tesis de los holistas e intuicionistas según la cual la producción de novedad no puede explicarse, sino que debe aceptarse ciegamente. ¿Es esa tesis compatible con la química y la biología contemporáneas?

9.5.7. Realizar un estudio lógico y epistemológico de la explicación química de la base de la reproducción biológica (replicación del gen) propuesta por J. Watson y F. Crick en 1953. En particular, examinar el modelo de doble hélice de la estructura del gen, con referencia al mandamiento convencionalista “No te harás ninguna imagen de las cosas que no has visto.”

9.5.8. Examinar la explicación estadística de la improbabilidad (próxima a la imposibilidad)

de la inversión de procesos como la mezcla de café y leche o la transformación de hombres en homínidas.

9.5.9. Informar acerca del estado actual del problema de la reducción.

9.5.10. Desarrollar las observaciones de Peirce sobre “la historia natural de las leyes de la naturaleza”, o sea, la explicación de las leyes de la naturaleza como resultados de procesos evolutivos. Cf. C. S. Peirce “The Architecture of Theories” (1891) y la carta a Lady Welby (1911) en P. Wiener (ed.), *Values in a Universe of Change*, Nueva York, Doubleday Anchor Books, 1958. Obsérvese que Peirce no puede haber imaginado una evolución propia de las leyes, pues las concebía de un modo que recuerda a Heráclito, a saber, “como una racionalidad que actúa en el mundo” (*loc. cit.*, p. 300). Dicho brevemente, según Peirce “es la ley lo que da forma al acontecimiento” (*ibid.*). Especular acerca de la posible génesis de leyes en un universo que se sostiene a sí mismo. *Problema en lugar de ése*: Examinar los intentos de explicar (reductivamente o de otro modo) los esquemas de comportamiento y los del pensamiento como procesos cerebrales. Cf. D. O. Hebb, *A Textbook of Psychology*, Philadelphia, Saunders, 1966 y *Essay on Mind*, Hillsdale NJ, Lawrence Erlbaum, 1980; D. Bindra, *A Theory of Intelligent Behaviour*, Nueva York, Wiley, 1976; M. Bunge, *El problema mente-cerebro*, Madrid, Tecnos, 1985; S. M. Kosslyn y O. Koenig, *Wet Mind: The New Cognitive Neurosciences*, 2a. ed., Nueva York, The Free Press, 1995.

9.6. PODER EXPLICATIVO

Todo hecho dado puede en principio recibir un número ilimitado de explicaciones incompatibles unas con otras: piénsese en los muchos modos de disculpar sus derrotas que tiene un político. Las explicaciones posibles de una generalización son menos numerosas, pero tampoco escasas. ¿Cómo elegir la explicación más adecuada? Aunque no parece existir ningún criterio a prueba de todo riesgo, si nos contentamos con criterios falibles los hallaremos examinando la práctica real de estimación de explicaciones científicas concurrentes.

Tenemos, por de pronto, un criterio para localizar explicaciones sospechosas: el grado en que sean *ad hoc*. Se dice que una explicación es *ad hoc* si la generalización que contiene se ha formulado exclusivamente para adaptarse al explicandum dado. Supongamos que alguien presenta la pretendida generalización “Las mujeres no dan resultado en la profesión médica”. En seguida pueden inventarse numerosas explicaciones *ad hoc* de ese “hecho”: que las mujeres se dejan absorber por su vida familiar y descuidan sus demás deberes, que son menos inteligentes, tenaces y ambiciosas que los hombres, etc. Y si otro contesta indicando que esos defectos bastarían para descalificar el trabajo de niñas y guardadoras de niños —que trabajan muy bien— y que en algunos países las mujeres dan un elevado porcentaje de los médicos, e incluso de los mejores, se inventará fácilmente otro conjunto de hipótesis explicativas *ad hoc*: que las mujeres son más sensibles al sufrimiento humano, que son más pacientes y comprensivas que los hombres, que tienen una aguda intuición muy útil para el diagnóstico clínico, etc. Como se ve, las explicaciones *ad hoc* son una especie de excusas.

Los rasgos principales de la explicación *ad hoc* son los siguientes. En primer lugar, la explicación *ad hoc* es *post factum*, en el sentido de que las generalizaciones que contie-

ne, aunque encajan con los datos, no habrían podido predecirlos; dicho de otro modo: la explicación *ad hoc* es sabiduría posterior a los hechos. En segundo lugar, es rígida, *imperfectible*: construida para recoger un determinado explicandum, hay que abandonarla —o justificarla por más conjeturas *ad hoc*— en el momento en que falta o resulta criticable el explicandum mismo. En tercer lugar *no es generalizable* sino accidentalmente, por casualidad: pues no hay fundamento para ampliarla a otros casos. Esos rasgos de la explicación *ad hoc* se desprenden de su pecado original: el no deberse a generalizaciones propiamente dichas y sistémicas, o sea, el no constar de enunciados legaliformes propiamente dichos. La explicación *ad hoc* no es explicación teórica, no es deducción practicada en el seno de una teoría.

Las generalizaciones aisladas pueden suministrar todas las “explicaciones” oportunistas que se deseen. Pero sólo las generalizaciones de una teoría pueden dar explicaciones *basadas en principios*, y siempre en número limitado: propiamente, *sólo una explicación por teoría*. Sin duda seguirá habiendo más de una explicación posible para cada enunciado factual singular o general, pero el conjunto de posibilidades es en este caso exactamente tan numeroso como el de las teorías relevantes en concurrencia, y éste es siempre un conjunto muy manejable. La razón de la drástica limitación del número de explicaciones posibles cuando se impone el requisito de teorización o sistemicidad es clara: en una teoría factual no estamos autorizados a introducir premisas generales arbitrarias que den de sí el explicandum que nos interesa, sino que tenemos que partir exclusivamente de los supuestos iniciales de la teoría; en particular, nos está prohibido el introducir premisas que contengan predicados ajenos a la teoría (cf. sec. 7.2, sobre consistencia semántica). Dicho de otro modo: la aplicación de la regla de adición, que es lo que más facilita las deducciones oportunistas, está muy limitada en las teorías factuales por el requisito de consistencia semántica. Consiguientemente, sólo la teoría científica puede tener una proyección explicativa que sea apreciable, por no accidental, sino debida a la universalidad de las leyes de la teoría.

Con ciertas limitaciones, puede decirse que la mejor teoría es la que tiene el mayor alcance explicativo. (En la sec. 10.4 hablaremos de esas limitaciones o restricciones.) Por eso la secuencia histórica de teorías en un determinado campo debe exhibir a grandes rasgos un alcance creciente. Buena ilustración de esa tendencia es la secuencia de las teorías de la luz, secuencia que no está ni mucho menos terminada. Puede verse al respecto la tabla 9.3. Se aprecia en ella que las teorías más adelantadas dan razón de casi todos los hechos típicos y leyes de bajo nivel, pero que ninguna teoría los explica todos. En particular, el aumento (o disminución) de la frecuencia de una onda luminosa al adentrarse en (o salirse de) un campo gravitatorio no se explica hasta ahora más que por la intersección de la teoría electromagnética y la teoría relativista de la gravitación, pero esa combinación teórica deja en cambio sin explicar los efectos cuánticos 17 a 20 de la tabla. La situación parece indicar que una de las primeras tareas a la vista debería ser la construcción de una teoría que cumpliera al mismo tiempo los requisitos fundamentales de la mecánica de los *quanta* (abreviada con ‘m.q.’ en la tabla) y la teoría general de la relatividad. Aunque se han hecho algunos intentos en ese sentido, con algún éxito parcial, no se tiene hasta ahora ninguna síntesis satisfactoria. La luz sigue siendo oscura...

El anterior ejemplo muestra ante todo que la teoría vieja (por lo general más simple) *puede* frecuentemente usarse para recoger cierto número de hechos, en particular los más familiares, los conocidos desde más tiempo. Sería absurdo utilizar la teoría cuántica de la luz para calcular el ángulo de refracción a partir del de incidencia y del índice de refracción; tan absurdo como ignorar la teoría cuántica al deducir el índice fenomenológico de refracción a partir de propiedades y leyes de nivel inferior. (Se necesitan teorías cuánticas de la luz exclusivamente para (i) los efectos típicamente cuánticos que pueden esperarse cuando se trata de unos pocos fotones a la vez, o de su acción sobre electrones, y (ii) la producción de estructuras luminosas macroscópicas a partir de estructuras cuánticas.) Otra lección que puede aprenderse de la tabla 9.3 es que, aunque en la mayoría de los casos una teoría nueva absorberá la vieja, en algunos el solapamiento del dominio de validez de teorías sucesivas no es completo, por lo cual hay que usar *forzosamente* algunas teorías más viejas para recoger sus explicanda peculiares.

Teniendo en cuenta el número de teorías que frecuentemente se disputan un mismo dominio fáctico, sería conveniente tener una medida de la capacidad o potencia explicativa de las mismas. Un primer criterio bastante grosero es la máxima “Explicar lo más con lo menos”, formulación de la regla de economía del pensamiento. Supongamos que una teoría T arranca con n supuestos iniciales recíprocamente independientes y absorbe (explica) N generalizaciones que, sin ella, son también independientes unas de otras (éstas pueden ser las hipótesis que dieron origen a la disciplina o tema). En esas circunstancias la siguiente función ρ puede considerarse como medida del *rendimiento explicativo* o la eficiencia explicativa de T :

$$\rho(T) = 1 - \frac{n}{N} \quad [9.6]$$

Si T no es más que una combinación de las N generalizaciones originarias, o sea, si T es una sistematización *ad hoc*, entonces, como $n = N$, su rendimiento será nulo. En cambio, si T es una teoría propiamente dicha, subsumirá gran número (acaso infinito) de generalizaciones y, por tanto, su rendimiento explicativo se aproximará a la unidad. Es claro que esa dilucidación del concepto de eficiencia explicativa es demasiado brutal, porque da por supuesto que todos los enunciados afectados son completamente verdaderos, no, como ocurrirá frecuentemente, parcialmente verdaderos. Dicho de otro modo: la fórmula propuesta indica el ámbito de las explicaciones científicas, pero pasa por alto su exactitud.

Una cosa es, en efecto, el *ámbito* o la extensión del conjunto de hechos y leyes de nivel bajo cubierto por una teoría y otra completamente distinta la *precisión* o adecuación de una tal cobertura. Teorías diferentes pueden dar razón de un conjunto dado de explicanda con diferentes grados de precisión. Si su ámbito es aproximadamente el mismo, se preferirá la más precisa de ellas, mientras que si es su precisión la que resulta aproximadamente idéntica, se preferirá la teoría que tenga mayor ámbito. El ámbito de una teoría puede ampliarse casi ilimitadamente si se relajan los criterios de precisión. Y, a la inversa, puede reforzarse la precisión de una teoría reduciendo su ámbito: una teoría cortada a medida para encajar con un solo hecho puede ser todo lo precisa que se quiera. Pero la precisión sin ámbito no tiene el menor valor, porque puede conseguirse de mu-

chos modos distintos mediante construcciones *ad hoc*. Y el ámbito solo también carece de valor: las construcciones que sirven para todo, como las que manejan conceptos vagos o inescrutables (“represión”, “Gestalt”, “difusión cultural”, y otros del mismo género) son demasiado acomodaticias. Concluimos, pues, (i) que el rendimiento de una teoría tiene que analizarse en ámbito y precisión, y (ii) que ámbito y precisión tienen que exigirse *conjuntamente*, no por separado: el requisito de ámbito tiene que contrastarse mediante el de precisión, y a la inversa. No conseguiremos a la vez ámbito universal y precisión perfecta, pero podemos conseguir el ámbito máximo compatible con una precisión razonable.

El ámbito de una hipótesis o teoría puede a su vez considerarse como un conjunto constituido por los siguientes subconjuntos: (i) el conjunto de los explicanda conocidos, o sea, de los datos y las construcciones de nivel bajo disponibles; (ii) el conjunto (desconocido) de los explicanda no conocidos de la misma naturaleza que los del anterior subconjunto; (iii) el conjunto de los explicanda conocidos pero de otra naturaleza, no tomados en cuenta al proponer inicialmente la construcción; (iv) el conjunto (desconocido) de los explicanda no conocidos por el momento, de naturaleza distinta y no contemplados inicialmente (por ejemplo, la presión de radiación, explicable por la teoría electromagnética de Maxwell, pero que no se conocía en el momento en que apareció esta teoría), y (v) el conjunto de los explicanda lógicamente posibles, concebibles a base de otras construcciones, pero imposibles según la construcción dada; o sea: el conjunto de los no-hechos determinados como tales por la construcción (cf. sec. 9.3). Es claro que sólo los subconjuntos (i) y (iii) son limitados y pueden medirse de un modo definido. Los demás conjuntos son abiertos: pueden ampliarse después de que se haya estimado el rendimiento de la teoría. Por tanto, aunque en un sentido el ámbito de una teoría puede considerarse como dado junto con la teoría misma, la determinación de su medida puede cambiar con el tiempo. Desde luego que no “descubrimos” los elementos que constituyen los varios subconjuntos, sino que los construimos gradualmente nosotros mismos. En cualquier caso, el ámbito de una teoría no está determinado de una vez para siempre. Lo que puede determinarse en el momento inicial es el ámbito *mínimo* de la teoría, que consta del subconjunto (i) de los datos y generalizaciones conocidos en ese momento y cubiertos por la teoría; luego el ámbito *efectivo* de la teoría, igual a la suma lógica de los subconjuntos (i), (iii) y acaso (v). Análogamente, la precisión atribuida a una teoría variará con el tiempo, puesto que depende de las técnicas de contrastación empírica disponibles y de las demás teorías que intervienen en la contrastación de la que se estudia. (Sobre este último punto, cf. sec. 8.4.) En resolución: el rendimiento de una teoría se estimará diversamente en épocas distintas, y en cada una de ellas podemos calcular su rendimiento *actual*, jamás su rendimiento *potencial*, el cual puede incluso no tener solapamientos con el actual. La estimación del rendimiento potencial de una teoría —o sea, de todo lo que podría rendir la teoría— requeriría que tuviéramos acceso a todas las consecuencias contrastables de la teoría y a todo posible hecho relevante para la teoría.

*El concepto de *rendimiento actual* de una teoría puede cuantificarse a base del concepto de verdad. Sea T una teoría factual cualitativa, y $\{t_i\}$ el conjunto de sus consecuencias contrastables. El valor veritativo de las t_i se estimará a base del conocimiento anterior A (que no contiene a T) y la evidencia empírica E relevante para las t_i . En la práctica

esta estimación se basará en la contrastación de una muestra del conjunto total $\{t_i\}$. Supongamos que se confirman un número C de t_i y quedan refutadas un número R . Si sumamos los valores veritativos individuales de las consecuencias contrastadas de la teoría, atribuyendo el número +1 a la verdad y el número -1 a la falsedad, obtenemos. $C \cdot (+1) + R \cdot (-1) = C - R$. Podemos tomar eso como medida del valor *veritativo empírico* de la teoría, o valor veritativo atribuido a la teoría en base a contrastaciones empíricas. Luego promediamos el valor veritativo empírico con la suma de los valores veritativos teóricos de las t_i , que son todos igual a 1, puesto que se supone que las t_i han sido correctamente deducidas en T . Así obtenemos el valor veritativo total, o *rendimiento* de T :

$$R(T) = 1/2(C - R + N) = C, \text{ puesto que } N = C + R \quad [9.7]$$

El rendimiento así definido coincide con el ámbito actual (no el potencial) de la teoría. Si el número N de contrastaciones es grande, tiene sentido y es conveniente referirse a la fracción de logros, o *rendimiento relativo*, $R_r(T)$:

$$N \gg 1, \quad R_r(T) = \frac{C}{N} \quad [9.8]$$

que es un número entre 0 y 1. También podemos considerar que $R_r(T)$ es el *grado de confirmación* de T , siempre que no caigamos en la tentación de identificarlo con una probabilidad por el mero hecho de ser una fracción entre 0 y 1. He aquí algunos casos típicos:

$$\begin{array}{ll} C = N, R = 0 \text{ (confirmación completa),} & R_r(T) = 1 \\ C = 0, R = N \text{ (refutación completa),} & R_r(T) = 0 \\ C = R = N/2 \text{ (mitad y mitad),} & R_r(T) = 1/2 \end{array} \quad [9.9]$$

Las anteriores fórmulas pueden generalizarse cómodamente para aplicarlas a una teoría cuantitativa contrastada con precisión también cuantitativa. Llamando $V(t_i | AE)$ al grado de verdad de t_i estimado a base del conocimiento anterior A y la evidencia empírica E , y $V(t_i | T)$ al valor veritativo teórico de t_i , podemos escribir

$$R(T) = (1/2) \sum_i [V(t_i | AE) + V(t_i | T)], \quad -1 \leq V \leq +1 \quad [9.10]$$

con la sigma mayúscula para designar sumación sobre i entre 1 y N . Es claro que [9.7] es un caso particular de [9.10], a saber, el caso en el cual toda t_i es completamente verdadera o completamente falsa estimada en base a A , E y T . Si una teoría da cuenta de las N situaciones empíricas con el mismo error aproximadamente, ε ($0 \leq \varepsilon < 1$), en todos los casos, tenemos $V(t_i | AE) = 1 - 2\varepsilon$, y consiguientemente

$$R(T) = (1/2) [N(1 - 2\varepsilon) + N] = N(1 - \varepsilon) \quad [9.11]$$

En ese caso particular el rendimiento es, pues, igual al ámbito multiplicado por la precisión, $1 - \varepsilon$. En cambio, si la teoría es enteramente falsa, o sea, si $V(t_i | AE) = -1 + 2\varepsilon$,

entonces

$$R(T) = N\varepsilon \geq 0 \quad [9.12]$$

que tiende a cero con ε . Mientras no se anule la imprecisión de la teoría —que depende de los enunciados contrastados t_i y de las técnicas de contrastación—, la teoría tendrá algún rendimiento. O sea, la imprecisión compensa la pobreza o hasta la nulidad del ámbito. (En el último caso el ámbito de la teoría era $C = 0$.)

Igual que en el caso de las teorías cualitativas, también aquí interesa introducir el concepto de *rendimiento relativo* $R_r(T)$:

$$N \gg 1, R_r(T) = (1/2N) \sum V(t_i | AE) + V(t_i | T) \quad [9.13]$$

Casos típicos:

$$\begin{aligned} C = N, R = 0 \text{ (confirmación completa con error } \varepsilon), & \quad R_r(T) = 1 - \varepsilon \\ C = 0, R = N \text{ (refutación completa con error } \varepsilon), & \quad R_r(T) = \varepsilon \\ C = R = N/2 \text{ (mitad y mitad),} & \quad R_r(T) = 1/2 \end{aligned} \quad [9.14]$$

Si la teoría es algo complicada habrá que hacer supuestos simplificadores para reducir las t_i . Estas simplificaciones introducirán otros errores (teóricos) más, $\delta_i \geq 0$, de tal modo que $V(t_i | T) = 1 - 2\delta_i \leq 1$. Suponiendo (lo cual es también un caso ideal) que todos esos errores teóricos sean idénticos, o sea, que $\delta_i = \delta$, obtenemos en vez de [9.14] y para los mismos casos:

$$\begin{aligned} C = N, R = 0 \text{ (confirmación completa con errores } \delta \text{ y } \varepsilon) \\ R_r(T) = 1 - (\delta + \varepsilon) \\ C = 0, R = N \text{ (refutación completa con errores } \delta \text{ y } \varepsilon), \\ R_r(T) = \varepsilon - \delta \end{aligned} \quad [9.15]$$

$$C = R = N/2 \text{ (mitad y mitad), } R_r(T) = 1/2 - \delta.$$

La segunda fórmula de [9.15] cubre el caso, nada insólito en la práctica científica, en el que los errores experimentales enmascaran o compensan aproximaciones teóricas. En la sección 10.4 se presentarán otras fórmulas que relacionan el rendimiento con la imprecisión y la capacidad de predicción.*

Un rendimiento alto es síntoma importante del grado de verdad de una teoría. Pero el rendimiento máximo no es un desideratum absoluto: la máxima *profundidad* explicativa es un desideratum importante (cf. sec. 9.4) que puede entrar en conflicto con el rendimiento. Así, por ejemplo, puede valer la pena trabajar en una teoría representacional preliminar que tenga por el momento un rendimiento limitado, aunque la correspondiente teoría fenomenológica posea ya un rendimiento amplio: no sólo nos interesan las ver-

dades, relativamente sin riesgos, sobre un determinado nivel, sino también las conjeturas, más arriesgadas, sobre las relaciones entre ese nivel y otros. Una teoría capaz de suministrar explicaciones de varios niveles tendrá sin duda más potencia explicativa que otra reducida a explicaciones de un solo nivel: la primera suministrará explicaciones interpretativas de hechos y de generalizaciones (cf. secs. 9.4 y 9.5), mientras que la última no dará más que explicaciones subsuntivas. Esto sugiere la introducción explícita del concepto de *potencia explicativa*, $E(T)$, de una teoría T , como el producto del rendimiento por la profundidad de la misma:

$$E(T) = R(T) \cdot P(T) \quad [9.16]$$

El punto de esa fórmula no puede interpretarse como producto aritmético mientras no consigamos establecer una medida de la profundidad. Tal vez pueda conseguirse esto en el contexto de una teoría de los niveles. Por el momento nos contentaremos con el ingenioso procedimiento que consiste en atribuir números (de una escala ordinal) a los varios niveles atravesados por la teoría de que se trate. Así, por ejemplo, se atribuirá la profundidad 1 a una teoría estrictamente conductista, profundidad 2 a una teoría que contenga a la vez variables conductistas y variables psicológicas, y profundidad 3 a una teoría que cuente con conceptos conductistas, psicológicos y fisiológicos.

*Por ejemplo, la potencia explicativa de una teoría de n niveles que dé cuenta de los N datos relevantes con la precisión $1 - \epsilon$ es, según [9.11] y [9.16],

$$E(T) = N \cdot (1 - \epsilon) \cdot n \quad [9.17]$$

o sea, el producto del ámbito por la precisión y por la profundidad de la teoría. Según eso podemos refigurar la potencia explicativa de una teoría como volumen de la teoría (cf. fig. 9.7). El valor mínimo, determinado por el ámbito mínimo, es todo lo que podemos estimar en el momento en que nace una teoría. A partir de ese momento el volumen puede ampliarse o restringirse, pero cualquiera de esos desarrollos es difícil de prever.*

En suma: el concepto de potencia explicativa puede analizarse en rendimiento y profundidad. A su vez, el rendimiento se determina por el ámbito y la precisión, determinados a su vez por el grado de verdad de las consecuencias de la teoría que han sido sometidas a contrastación. Y como estas últimas no son más que una muestra —y ni siquiera al

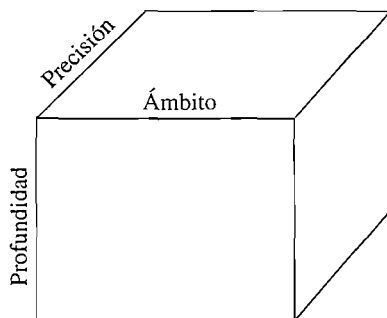


FIGURA 9.8. El volumen de una teoría: $E(T) = \text{Ámbito}(T) \times \text{Precisión}(T) \times \text{Profundidad}(T)$.

azar— del conjunto total de las consecuencias contrastables de la teoría, resulta que una intensa potencia explicativa no es garantía de la verdad de una teoría, sino sólo un síntoma de ella. Hay que añadirle otros síntomas de la verdad de la teoría para que la potencia explicativa permita formular un diagnóstico adecuado —pero siempre corregible— de las virtudes de la teoría. (Cf. secs. 10.4 y 16.7.)

Estudiemos, por último, el lugar de la explicación en la ciencia.

Problemas

9.6.1. Durante las guerras y después de ellas nacen más niños que niñas: ésta es una generalización empírica de la que se han ofrecido las siguientes explicaciones: (i) “La Naturaleza, que es un todo autorregulado, compensa la pérdida de hombres en el campo de batalla”. (ii) “La guerra acelera los compromisos y favorece, por tanto, una maternidad temprana. Ahora bien, las parejas jóvenes tienden a concebir más niños que niñas”. Examinar las dos explicaciones desde el punto de vista de su carácter *ad hoc*.

9.6.2. Se han dado dos explicaciones de la ley de Boyle y Mariotte para los gases ideales. El supuesto central de una de esas dos explicaciones es que un gas es una colección de moléculas que se mueven rápidamente al azar. La otra explicación supone que un gas es un fluido continuo en movimiento rotatorio. La ley puede derivarse correctamente tanto de la teoría molecular cuanto de la teoría del medio continuo y, por tanto, las dos explicaciones se consideraron equivalentes durante un largo periodo. ¿Cuáles eran los ámbitos, las precisiones y las profundidades iniciales de las dos teorías? ¿Y qué ocurrió luego? Esto es: ¿cómo se alcanzó la decisión final?

9.6.3. ¿Es el ámbito deseable por sí mismo?

9.6.4. Examinar la difundida opinión según la cual el rendimiento de toda teoría nueva es mayor que el de sus predecesoras, porque de no ser así no se la habría tomado en consideración. *Problema en lugar de ése*: ¿Es posible identificar la potencia explicativa de una teoría con su potencia de implicación (o deducción)?

9.6.5. Construir una tabla parecida a la tabla 9.4, pero para algún campo que no sea la óptica.

9.6.6. Comparar la potencia explicativa de una teoría pseudocientífica con la de la teoría científica correspondiente.

9.6.7. Comparar dos sistemas científicos rivales cualesquiera desde el punto de vista de la potencia explicativa, en el momento inicial y después de haberse llevado a cabo algunas contradicciones cruciales.

9.6.8. Es un desideratum de toda teoría nueva el dar cuenta de los éxitos y de los fallos de la teoría a la que intenta sustituir. Desarrollar este tema e ilustrarlo.

9.6.9. El perihelio de Mercurio presenta un ligero movimiento secular no explicado por la teoría de Newton. En el siglo XIX se propusieron algunas explicaciones de esa discrepancia entre la teoría y la observación, antes de que Einstein la explicara con la ayuda de su teoría del campo gravitatorio. Aquellas explicaciones pueden clasificarse en dos conjuntos: las que suponían una ley gravitatoria diferente de la de Newton y las que no hacían esa suposición. De entre las primeras pueden citarse las siguientes: (i) el exponente de la ley de Newton es ligeramente diferente de 2, a saber: $n = 2,00000016$; en este caso se explica la anomalía de Mercurio, pero resulta anómalo el movimiento de la Luna; (ii) se añade un término correctivo a la ley de Newton, a saber: $k \cdot r^{-n}$, con $n = 3, 4$ o 5 ; pero no hay valor de k satisfactorio para todos los planetas; (iii) se multiplica la fuerza de Newton por una función exponencial decreciente, e^{-kr} ; pero también en este caso hay que suponer diferentes valores de k para los distintos planetas. Esas propuestas eran, pues, incon-

sistentes con la evidencia total; además, eran también inconsistentes con la teoría (clásica) del campo gravitatorio, basada en la ecuación de Poisson. Pero, a pesar de eso, las propusieron en serio investigadores competentes (por ejemplo, Laplace propuso la corrección exponencial). Aún más: en nuestros días, autores contrarios a la relatividad han propuesto chapuzas análogas sobre la ley de Newton, sin preocuparse de si las nuevas fórmulas eran independientemente contrastables ni de si satisfacían por lo menos la teoría clásica del campo gravitatorio. Explicar ese comportamiento. Detalles de todas esas explicaciones *ad hoc* en M. A. Tonnelat, *Les principes de la théorie électromagnétique et de la relativité*, París, Masson, 1959, pp. 253ss.

9.6.10. Introducir el concepto de tasa de crecimiento de una teoría, tasa que puede ser negativa. Indicación: empezar con una medida del rendimiento de la teoría. *Problema en lugar de ése*: Proponer una manera de medir el carácter *ad hoc* de las teorías. Sugerencia: contar el número de hipótesis que no son contrastables independientemente, y cuya única función es proteger a otras hipótesis de la teoría.

9.7. FUNCIONES Y ALCANCE

¿Por qué tienen que buscar los científicos explicaciones? ¿No podrían bastar las descripciones y predicciones? Según varias escuelas filosóficas de bastante influencia, la ciencia no debe proponerse dar respuesta a cuestiones de *por-qué*, sino sólo a preguntas de *cómo*, o sea, que tiene que limitarse a producir descripciones máximamente completas y económicas de los fenómenos actuales y posibles. Desde ese punto de vista la explicación es superflua o hasta una desviación. Mostraremos que esa opinión, a la que podemos llamar *descriptivismo*, es inadecuada. Pero antes de argumentar nada hace falta una caracterización más detallada del descriptivismo.

Hay diferencias importantes entre los descriptivistas. Podemos distinguir tres especies de descriptivismo: (i) descriptivismo radical, que no acepta más que datos y, a lo sumo, hipótesis de mera condensación de datos; (ii) el “cajanegrismo”, que tolera hipótesis y teorías trasempíricas siempre que no se les asigne significación que rebase lo observable; y (iii) el “antipictorialismo”, que se opone a las explicaciones a base de modelos intuitivos y susceptibles de representación gráfica, y los considera en cualquier caso como trucos metafóricos o didácticos, no como imágenes de la realidad.

El *descriptivismo radical* sostiene lo que su nombre dice acerca de la descripción y la explicación en la ciencia, a saber, que la investigación científica consiste, o debe consistir, exclusivamente en observaciones e inventarios de informes observacionales. El “cajanegrismo” añade por su parte que tales inventarios deben ser ante todo económicos, más que verdaderos, con cuyo objeto tienen que consistir en información empírica comprimida o en expedientes para comprimirlas; dicho de otro modo: el “cajanegrismo” permite leyes y teorías mientras sean fenomenológicas (no representacionales). O, como también podemos decir, mientras que el descriptivismo radical proscribía la explicación, el “cajanegrismo” permite la explicación subsuntiva, pero llamándola *descripción* y rechazando la explicación interpretativa. Por último, el “antipictorialismo” no se opone a que se introduzcan construcciones —por lejos que estén de la experiencia sensible— siempre que no se utilicen para construir modelos representables. Dicho de otro modo: las

explicaciones aceptables para esta tendencia suponen modelos teóricos que no sean icónicos, sino simbólicos.

El descriptivismo radical y el “cajanegrismo” tienen sus raíces en la búsqueda de la certeza o infalibilidad, que es la fuente del prejuicio contra la hipótesis. El cajanegrismo se encuentra además enlazado con el convencionalismo, el ficcionalismo y el instrumentalismo, según los cuales la ciencia no puede representar la realidad —lo cual es un mal metafísico—, pero sí que puede sistematizar y prever la experiencia. También el antipictorialismo tiene a menudo esas mismas raíces filosóficas, pero, además, ha recibido el refuerzo que supone el fracaso de los modelos mecánicos del éter y del átomo. (Véase el segundo problema de 8.5.1.) En el caso de numerosos científicos, el antipictorialismo es más bien una reacción iconoclasta contra el mecanicismo ingenuo y contra el realismo ingenuo, y no tanto una filosofía sistemática: se trata de una rebelión sana —aunque exagerada— contra la construcción de modelos ingenuos cuya principal función es el intento de encarnar cosas que se encuentran esencialmente fuera del alcance de los sentidos.

No hay prácticamente duda de que el mecanicismo, lo que podría describirse como imagen del mundo propia de la ingeniería mecánica, ha sido superado por una visión más rica que supone entidades no mecánicas y cambios tampoco mecánicos que ocurren en cierto número de niveles de realidad. Pero también es un hecho que el mecanicismo puede suministrar a menudo una primera aproximación, ya por la circunstancia de que muchísimos objetos reales tienen propiedades mecánicas. El aparato del éter de Kelvin es ya insostenible, pero los modelos de molécula de Kekulé han sido simplemente refinados por la mecánica cuántica, y las órbitas atómicas de Bohr se mantienen como distribuciones medias. Los intereses de la ciencia quedan mejor servidos si se toma un camino equidistante de la iconolatría y la iconoclastia. No hay motivo para rechazar los modelos visualizables sólo por el hecho de serlo; pues en última instancia los correlatos de las teorías factuales existen en el espacio-tiempo, o sea, que están localizados de algún modo, y todo lo que es localizado —aunque no sea con límites claros— es visualizable o representable en alguna medida. Por tanto, en vez de dedicarse a romper iconos, lo más eficiente es oponerse a los modelos incontrastables o patentemente falsos, sean pictoriales o no lo sean (cf. sec. 9.5). Un modelo no visualizable de un sistema material, como el modelo aristotélico —a base de forma, potencia y causa final—, no es mejor que la más exagerada simplificación mecánica: el intento de imponer a la realidad esquemas incontrastables o caducados no se realiza necesariamente en un lenguaje “pictórico”. El “antipictorialismo” debe, pues, considerarse como un exceso de celo contra la tentación que lleva a trivializar las ideas, y en este sentido será siempre útil. En cambio, las demás variedades del descriptivismo no tienen raíces sanas y pueden ser peligrosas. Vamos a intentar mostrarlo.

En primer lugar, es imposible dar una descripción completa y simple de todo hecho. La descripción de todos los hechos, macroscópicos y microscópicos, ocurridos en nuestra aula durante un segundo exigiría —en el supuesto de que fuera técnicamente posible— varios siglos de actividad. Ni siquiera podrían describirse con precisión los fenómenos propiamente dichos —o sea, los hechos experienciables— que ocurren en el mismo lapso de tiempo, a causa de su enorme número y de su complejidad y a causa de que toda descripción inteligente y precisa requiere teorías, y la teorización no está nunca completa. En segundo lugar —y esto es más importante— aunque fuera posible una descripción com-

pleta de cualquier conjunto dado de fenómenos, esa descripción sería inútil para la ciencia: los únicos hechos que se registran y describen normalmente en la ciencia son los relevantes para alguna idea de interés; o sea, los hechos que merecen descripción se seleccionan de entre una montaña de hechos, y esta selección, no menos que la descripción misma, se realiza con la ayuda de hipótesis y teorías. Además, toda descripción científica, lejos de ser completa, es deliberadamente parcial, en el sentido de que supone un limitado número de variables y desprecia también intencionadamente varias otras: se refiere a aquellas variables –y sólo a ellas– que presumiblemente son relevantes para alguna opinión y alguna intención. La adición de información irrelevante, por precisa que sea e interesante para algún otro objetivo, sería un estorbo para la invención de modelos adecuados (cf. sec. 8.1). Dicho de otro modo: en la ciencia no nos interesa más información en cada caso que la relevante, junto con su elaboración teórica. Pero información relevante quiere decir información relevante para un conjunto de puntos de vista y objetivos: todo lo demás es, desde el punto de vista de ese conjunto determinado, mero estorbo que hay que descartar. En tercer lugar, la descripción detallada de lo que ocurre es insuficiente para conseguir el conocimiento científico propiamente dicho: primero, porque también importa lo que puede ocurrir y lo que no puede ocurrir, y estos posibles e imposibles no pueden estudiarse más que en base a alguna teoría; segundo, porque el conocimiento no es científico mientras no pueda unir los elementos dados por separado en la experiencia. En conclusión: el descriptivismo radical es falso y dañino.

El descriptivismo radical no parece cosa de científicos, sino de filósofos; lo que sí han defendido numerosos científicos es la versión más flexible del descriptivismo a la que hemos llamado *cajanegrismo* (cf. sec. 8.5). Sería instructivo establecer una lista de los progresos científicos que se han frustrado por las rigideces del cajanegrismo. Nos limitaremos a recordar aquí el descubrimiento del efecto termoeléctrico, hecho sumido durante decenios en la oscuridad sólo porque su descubridor se negó a dar un paso más allá de lo que había observado. En 1821 T. J. Seebeck averiguó que calentando un circuito metálico compuesto por dos conductores diferentes el circuito queda imantado, como se prueba por la desviación de una aguja magnética. Resumió entonces sus hallazgos en la siguiente generalización: “El calentamiento de un circuito que contiene dos metales diferentes se acompaña por la imantación del circuito.” Se trataba de una hipótesis de nivel bajo que compendia y generalizaba la conjunción observada de dos propiedades directamente observables: calor y magnetismo. La hipótesis era estrictamente fenomenológica: no suministraba una explicación mecanísmica del hecho. Esta generalización se mantuvo aislada, y por tanto estéril, durante muchos años; aun peor: la negativa a intentar penetrar más allá de lo observado llevó a Seebeck a la equivocada idea de que el campo magnético terrestre se debiera a la diferencia de temperatura entre los polos y el ecuador. Posteriormente se formuló una hipótesis más profunda: “La diferencia de temperatura en un circuito que contiene dos conductores metálicos diferentes produce una corriente eléctrica [inobservable] que engendra a su vez un campo magnético [inobservable] el cual actúa sobre la aguja imantada.” Con eso no quedaba enteramente aclarado el mecanismo por el cual se constituye la corriente al calentar una unión por soldadura: la nueva hipótesis era semifenomenológica. Pero la adición del eslabón invisible –la corriente eléctrica y el campo magnético que la acompaña– fue suficiente para

salvar a la termoelectricidad de su aislamiento. Si Seebeck hubiera tenido la audacia de formular esa conjetura semirrepresentacional en vez de aferrarse a los hechos observables, habría inaugurado todo un nuevo campo de la física. Tal como procedió, no hizo más que añadir un sello más a la imagen del mundo propia del coleccionista de sellos, una imagen que ve el mundo como montón de hechos sin relacionar. Otros investigadores dispuestos a explicar el efecto —o sea, a explicar la generalización empírica inicial— hicieron progresar el tema.

Otro ejemplo de esa táctica constrictiva del descriptivismo es el principio de abstenerse de preguntarse por el origen, el desarrollo y el mecanismo de las instituciones sociales, con la recomendación de que antropólogos y sociólogos se limiten a resumir los hechos sociales que ocurran en las comunidades estudiadas y a describir las funciones de las costumbres y las instituciones. Se dice confiadamente que eso puede hacerse sin más base que la observación, mientras que las cuestiones de origen, evolución y mecanismo requieren hipótesis. Pero ni siquiera ese modesto programa (funcionalismo) es realizable exactamente; primero, porque las instituciones como tales son inobservables; segundo, porque la observación no suministra las ideas que nos sugieren el tomar tales o cuales rasgos de una sociedad en vez de otros. Así, por ejemplo, la recolección de datos sobre la historia económica y social no empezó hasta que se formuló explícitamente la hipótesis de que la producción y el comercio producen ciertas básicas relaciones sociales, y que éstas constituyen el tejido de toda sociedad. Ningún hecho social, y aún menos una función social, ha sido nunca observado por un científico sin guía teórica: todo lo que podemos observar sin ella es unos cuantos individuos y muchedumbres que se mueven; lo demás es conjetura o inferencia. La descripción adecuada de una institución social requiere unas cuantas ideas, del mismo modo que la descripción adecuada de una nube requiere unas cuantas teorías, y cuanto más representacionales sean las teorías usadas para la descripción, tanto más profunda será ésta.

En conclusión, el descriptivismo tiene dos peligrosos y dañinos efectos: (i) ciega a las personas, impidiéndoles ver cualquier hecho nuevo que aparezca por bajo de la superficie de las cosas, y bloquea así la consecución de información sugerida por las teorías más profundas; (ii) hace perder la oportunidad y la satisfacción de pensamiento nuevo que trae consigo todo nuevo hecho. En razón de (i) el descriptivismo se derroca a sí mismo, y en razón de (ii) promueve la superficialidad e impide la transformación de la protociencia en ciencia.

La ineptitud del descriptivismo no implica que la ciencia pueda prescindir de la descripción: lo que sí hace es obligarnos a estimarla de otro modo. Se necesitan en la ciencia dos clases de descripción: descripción no-teórica y descripción teórica. Una *descripción no-teórica* es una exposición que no contiene conceptos teóricos y está formulada en el lenguaje ordinario. Una *descripción teórica* presupone, por el contrario, la aceptación (provisional) de algún conjunto de teorías. En las ramas cuantitativas de la ciencia la descripción teórica se lleva a cabo con la ayuda de leyes de nivel bajo. Así, por ejemplo, el fino pincel de luz que el lego puede describir de forma no técnica, puede describirse por el físico con la ayuda de una ecuación de propagación de la luz. (La explicación —no ya la descripción— exigirá la ecuación misma, que es de nivel alto; para la descripción bastará una solución de la ecuación.) Mientras que la descripción no teórica

afecta siempre a algún hecho singular que se supone real, la descripción teórica se refiere a un modelo conscientemente idealizado de una clase de hechos: la descripción teórica es más hipotética que actual, pues usa enunciados legaliformes y supuestos simplificadores. Aún más: puede decirse que no hay razón para distinguir radicalmente entre descripción teórica y explicación subsuntiva (cf. sec. 9.3). En este sentido la descripción teórica precisa es una clase de explicación.

Eso no anula la diferencia entre descripción y explicación. En primer lugar, la descripción no-teórica (de hechos singulares actuales) se distingue tajantemente de la descripción teórica (de modelos de hechos de una clase). En segundo lugar, la descripción teórica—o, si se prefiere, la explicación subsuntiva—se distingue también de la explicación interpretativa (cf. sec. 9.4). Lo que a menudo se llama *teoría descriptiva* o bien no es una teoría (como, por ejemplo, el programa conductista radical), o bien es una teoría del tipo de la caja negra que suministra explicaciones subsuntivas (como es el caso de la termodinámica). Las teorías propiamente dichas nos permiten realizar, por lo menos, explicaciones subsuntivas, o sea, descripciones teóricas; las teorías representacionales pueden dar además explicaciones interpretativas.

¿Tiene límites la explicación científica? La idea tradicional es que los hechos pueden clasificarse en explicables e inexplicables: los primeros deben explicarse por causas (planeamiento aristotélico), mientras que los segundos deben temerse o venerarse (Goethe: *das Unerforschliche ruhig verehren*). La opinión hoy dominante es como sigue. Todo, excepto la existencia del universo—que está presupuesta en cualquier pregunta—, es explicable en alguna medida, si no ha sido aún explicado. Unos cuantos hechos pueden explicarse con detalle, la mayoría sólo esquemáticamente, y todo lo que puede explicar la ciencia en un momento dado se explica con ayuda de las teorías y leyes disponibles en ese momento. No toda explicación es causal: hay tantas clases de explicaciones cuantas clases de teorías, y la causación no es sino uno de los determinantes recogidos por las teorías científicas. Los defectos de explicación se deben al conocimiento insuficiente (pero mejorable) de leyes y circunstancias o a dificultades prácticas en la aplicación de teorías básicamente correctas a sistemas de suma complejidad, como, por ejemplo, la fibra de poliéster. En ningún caso queda limitada la explicación por una supuesta opacidad de la realidad a la razón y a la experiencia humanas: en última instancia, como somos una parte de la realidad, tenemos una porción de información “desde dentro” sobre ella. El supuesto de que la naturaleza—y, en menor medida, la cultura—es irracional queda refutado por el progreso de la ciencia. Sólo algunos individuos son irracionales—algunos hasta el punto de buscar razones para justificar el irracionalismo. La verdad es que nunca se consigue una explicación *perfecta*—completa y precisa—; por eso no hay explicaciones *definitivas*. Si recordamos cómo se construyen las teorías (cf. sec. 8.1) admitiremos que esa imperfección es esencial, no circunstancial. Pero al mismo tiempo suponemos que toda explicación puede mejorarse y, en general, que la potencia explicativa de las teorías científicas puede incrementarse sin limitaciones a priori, precisamente porque es posible en principio descubrir los defectos de toda teoría. La posibilidad del progreso queda sugerida por la historia de la ciencia y por el modo como se construyen y examinan críticamente las teorías, pero no hay ninguna ley del progreso científico: no hay más que una tendencia progresiva, y nada garantiza su persistencia.

*Se ha dicho, empero, que en la física no es ya posible ningún progreso básico, que la actual teoría de los quanta es definitiva y que sus limitaciones no son contingentes, sino insuperables. Por ejemplo, las actuales leyes estocásticas seguirán siendo siempre fundamentales, o sea, no serán nunca derivables de leyes más básicas referentes a cosas y acontecimientos de nivel bajo. Esas leyes, por ser estocásticas, no explican acontecimientos y procesos individuales, sino sólo el resultado colectivo de cierto número de tales hechos, por ejemplo, la distribución de manchas en una placa fotográfica sometida a bombardeo por partículas subatómicas difractadas por un cristal. Y como esas leyes son finales, nunca podremos explicar el hecho individual. Consiguientemente, no debemos ya preguntarnos por qué es como es tal o cual hecho individual: esa pregunta carece de sentido. Tal es el tenor de esa proclama del hombre que, incapaz de predecir lo que le ocurrirá a un electrón individual al ser disparado por un sistema difractor, tiene en cambio la sabiduría de predecir que ningún otro hombre en el futuro llegará a conocer lo que él no conoce. Es claro que no conocemos la mayoría de las cosas, e incluso que con nuestras actuales teorías no podemos siquiera plantear ciertos problemas. En cambio, el *ignorabimus* —la tesis de que no sabremos nunca lo que no sabemos ahora— es una profecía peligrosamente infundada. No sabemos si los hechos individuales atómicos y subatómicos se explicarán un día con algún detalle por futuras teorías, pero debemos animar, y no aplastar dogmáticamente, todo intento serio de enriquecer el sistema problemático accesible en el actual marco teórico, especialmente si éste se encuentra agitado por dificultades internas (como las famosas energías infinitas) y no consigue recoger una gran parte del material experimental relativo a las llamadas partículas elementales, las cuales no son probablemente ni elementales ni partículas. Si no esperáramos que esas dificultades se superen un día por una teoría más aproximadamente verdadera, aunque aún incorrecta, más valdría que abandonáramos totalmente la investigación de fundamentos. Por suerte son pocos los que creen en los dogmas que ellos mismos proclaman, por que ellos mismos intentan explicar lo inexplicable.*

La elección ante la cual nos encontramos no es entre explicación completa y exacta (racionalismo ingenuo) y falta completa de explicación (misticismo, escepticismo sistemático y positivismo tradicional), sino entre teorías de diversa potencia explicativa (cf. sec. 9.6). En particular, tenemos que elegir entre contentarnos con teorías fenomenológicas o rebasarlas. Si lo que nos interesa es la verdad nueva y profunda, más que la seguridad, preferiremos las hipótesis, audaces, pero contrastables, sobre “mecanismos” subyacentes a lo observable. Pero esa preferencia por las teorías representacionales está lejos de ser universal: el metacientífico tiene que recomendarla no porque esté de moda —que no lo está en modo alguno en este momento—, sino porque es la más fecunda (cf. 8.5).

Los que sostienen que la explicación científica es intrínsecamente limitada arguyen que ello tiene que ser así forzosamente porque la ciencia no busca más que relaciones y no se pregunta por la naturaleza de sus objetos. Los trascendentalistas añaden que todo objeto tiene una esencia inmutable por debajo de sus propiedades y relaciones, y que las esencias, que se sustraen a la razón igual que a la experiencia, son aprehensibles por medios no-científicos, como la intuición, de la clase que sea. Los fenomenistas se niegan a hablar de esencias simplemente porque éstas no son fenómenos, pero coinciden con los trascendentalistas en que la ciencia se limita al establecimiento de relaciones, entre fenó-

menos o entre rasgos de hechos que son ampliamente observables de modo directo; y que la ciencia no llega nunca a las cosas mismas, las cuales son meras construcciones metafísicas. Esas dos tesis relacionistas son erróneas y se basan en un análisis superficial de la ley y la teoría científicas, análisis que ignora nada menos que la variable de objeto, o individual, y el conjunto de sus posibles valores (o sea, el universo del discurso).

La ciencia no estudia las propiedades y relaciones en sí mismas, separadas de las cosas y los hechos: lo que se nos da es una visión externa de cosas y hechos enteros, y sólo mediante el análisis y la invención podemos separar sus varios aspectos (variables) y aislar las relaciones invariantes entre ellos (leyes). Cualesquiera que sean las relaciones que se establezcan entre propiedades (variables) en la ciencia factual, esas propiedades *refieren* siempre a algún sistema concreto. (Cf. secs. 7.1 y 8.4.) Esto se da por supuesto en los contextos científicos, en los que se escribe, por ejemplo, ' $R = kS^n$ ' (la ley básica psicofísica) en vez de 'Para todo x , si x es un organismo sujeto al estímulo S , entonces s reacciona con la intensidad $R(x) = kS(x)^n$ '. La presencia tácita de la variable individual x puede confundir al lego, haciéndole creer que se está pensando en una fantasmal relación entre variables; pero el filósofo debe precisar interpretativamente qué es lo que está diciendo el científico. En segundo lugar, la ciencia no sabe, ciertamente, nada de esencias ideales, ni de esencias reales, inmutables y últimas —pero inescrutables. Mas ¿cómo va a ser eso un defecto? En todo conjunto de propiedades podemos reconocer en principio las que son de origen y las que se derivan de ellas; cosa análoga puede decirse de la leyes. En la ciencia las esencias no se conciben como las almas de las cosas, sino como ciertas propiedades y leyes, a saber, como las propiedades y leyes que, en una teoría dada, son fundamentales a un determinado nivel. Por eso el calificativo 'esencial' —aplicado a variables y a leyes— puede hallarse en la literatura científica, mientras que el nombre 'esencia' en su sentido metafísico no se hallará en esas publicaciones. La ciencia no utiliza, pues, la explicación metafísica a base de esencias; pero a veces da con propiedades y leyes que pueden considerarse *esenciales a un nivel dado* (no esenciales en un sentido absoluto) mientras no se muestre lo contrario. Así, por ejemplo, el número atómico es una propiedad esencial al nivel químico, pero la teoría del núcleo tiene como tarea el dar razón de ese concepto a base de propiedades aún más profundas que no interesan en primer término al químico, porque no se manifiestan tampoco directamente en el nivel químico.

Concluamos. Pese a las prohibiciones dictadas por los filósofos de la confesión descriptivista, los científicos no han dejado nunca de preguntarse por-qué y de darles respuesta, o sea, no han dejado nunca de ofrecer explicaciones subsuntivas e interpretativas. Pero, a diferencia de los filósofos tradicionales, los científicos no suelen pretender que sus explicaciones —o, al menos y en cualquier caso, las de sus colegas— sean definitivas: generalmente reconocen que toda explicación *tiene forzosamente* que ser defectuosa, porque se construye con teorías imperfectas, con hipótesis simplificadoras subsidiarias y con información más o menos inexacta. Al mismo tiempo, los científicos suelen tener confianza en la perfectibilidad ilimitada del ámbito, la precisión y a veces incluso la profundidad de las explicaciones científicas.

El principal motivo de esa búsqueda de explicación corregida y perfeccionada, de esa búsqueda de teorías de potencia explicativa creciente, es que toda nueva explicación amplía el horizonte de lo conocido y el alcance de la razón. Podemos decir incluso que la expli-

cación es la que efectivamente consuma la unión de la razón con la experiencia, puesto que la explicación es una argumentación lógica que requiere datos empíricos y generalizaciones empíricamente contrastadas o, por lo menos, contrastables. Además, toda nueva explicación aumenta la sistemicidad de nuestro conocimiento, porque transforma el dato aislado o la generalización suelta en una pieza de un todo conceptual. Consiguientemente, pedir la supresión de la explicación científica, o incluso su restricción a la explicación subsuntiva, es más o menos como matar la gallina de los huevos de oro de la ciencia.

Problemas

9.7.1. Discutir las tesis del descriptivismo expuestas en algunas de las obras siguientes: (i) G. R. Kirchhoff, *Vorlesungen über mathematische Physik: Mechanik*, Leipzig, Teubner, 1883, pp. iii y 1. (ii) E. Mach, "Beschreibung und Erklärung", en *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, 4a. ed., Leipzig, Barth, 1910. (iii) P. Duhem, *La théorie physique*, París, Rivière, 1914, parte I. (iv) K. Pearson, *The Grammar of Science*, 3a. ed., Londres, Adam and Charles Black, 1911, p. v. (v) L. Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, Nueva York, Macmillan, 1953, I, p. 47. (vi) P. Frank, *Philosophy of Science*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1957, p. 23. El programa de Kirchhoff para la mecánica, ampliado por él mismo a la electrodinámica, era "describir los movimientos naturales completamente y del modo mas simple" (*op. cit.*, p. 1).

9.7.2. Indicar las diferencias entre las siguientes proposiciones. (i) "Si dos trozos de papel metalizado se tocan con una varilla de vidrio, previamente frotada con piel, se separan." (ii) "Dos cuerpos cargados de electricidad procedente de un tercer cuerpo se repelen entre sí."

9.7.3. ¿Habría propuesto Darwin su teoría de la evolución por selección natural si no hubiera intentado explicar los parecidos (como parentesco)? *Problema en lugar de ése*: Examinar los límites de la explicación científica según E. Mach, *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872; trad. inglesa, Chicago, Open Court, 1911, p. 55. (Tesis: la explicación no puede llevarse más allá de los elementos simples en que resuelve al explanandum.)

9.7.4. Examinar la defensa de la explicación metafísica o "concreta" (opuesta a la científica o "abstracta") que suministra la empatía. Estimar sus pretensiones de validez y establecer su relación con la simpatía universal de las doctrinas hermética y estoica, así como con la comprensión simpatética (empatía, *Verstehen*) de W. Dilthey, R. G. Collingwood y otros intuicionistas. Averiguar si esos filósofos utilizan 'explicación' en sentido lógico o en sentido psicológico. Cf. H. Bergson, *L'évolution créatrice*, 1907; París Presses Universitaires de France, 1948, p. 177, y M. Bunge, *Intuición y razón*, Buenos Aires, Sudamericana, 1996, y *Finding Philosophy in Social Sciences*, New Haven CT, Yale University Press, 1996 [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

9.7.5. Entre los naturalistas y los historiadores está bastante difundida la convicción de que la descripción o la narración son más importantes, o, al menos, metodológicamente anteriores a la explicación, o sea: que no puede darse respuesta a ningún *por qué* mientras no estén seguros todos los *cómos*. Discutir esa opinión en relación con la selección de evidencia y su interpretación, interpretación que por fuerza realiza hasta el más candoroso coleccionista de hechos.

9.7.6. Comparar las descripciones siguientes: (i) "Las sustancias *A* y *B* reaccionan y dan lugar a las sustancias *C* y *D*, o sea: $A + B \rightarrow C + D$ ". (ii) "sea *A* un gas monoatómico que reacciona con un gas diatómico, cada una de cuyas moléculas tiene la composición *B-C*, en la que '*B*' y '*C*' simbolizan los átomos componentes y '-' el vínculo entre ellos. Cuando *A* se acerca a *B-C* se produce

una interacción y se constituye un complejo intermedio de corta vida, $A \dots B \dots C$. El vínculo $A-B$ puede predominar, y surge la nueva molécula $A-B$, mientras C queda libre. La reacción final es, pues, $A + (B - C) \rightarrow (A - B) + C$ ".

9.7.7. Una serie de observaciones practicadas para contrastar una tesis parapsicológica, si se realiza con el mínimo de cuidado exigible, se basará en hechos objetivos referentes al comportamiento del sujeto, como, por ejemplo, la inscripción por éste de una serie de señales convencionales. El parapsicólogo y el psicólogo pueden coincidir en la descripción del comportamiento externo del sujeto. ¿Coincidirán por ello necesariamente en la interpretación (explicación) del mismo? ¿Y tendría importancia el que no coincidieran? *Problema en lugar de ése*: En 1776, Priestley consiguió, por suerte, el sorprendente descubrimiento de que el carbón de leña es un excelente conductor de la electricidad. Esta generalización empírica y otras que se descubrieron a continuación —por ejemplo, que la conductividad del carbono aumenta con la temperatura— quedaron sin explicar hasta la década de 1950, cuando se aplicó la teoría de los *quanta* a los semiconductores. El propio Priestley intentó explicar su descubrimiento pero sin conseguirlo. Leemos en Joseph Priestley: *Selection from his Writings*, University Park, Pa., Pennsylvania State University Press, 1962, p. 229: "Pero, a pesar de que yo no he tenido éxito, no tengo la menor duda de que toda persona de normal sagacidad que tenga la oportunidad de hacer experimentos en un laboratorio en el que pueda reducir a carbón toda clase de sustancias y por todos los métodos, podrá muy pronto averiguar qué es lo que hace del carbón de leña un conductor de la electricidad." ¿Disponía Priestley de una buena estrategia, o sea, tenía razón al esperar que operaciones puramente empíricas suministraran la explicación que se necesitaba?

9.7.8. ¿Rechaza la ciencia las explicaciones a base de entidades y propiedades ocultas? Si no, ¿cuál es la diferencia entre la ciencia moderna y la escolástica, o incluso las "ciencias" ocultas, como la astrología y la parapsicología? Empiécese por especificar qué debe entenderse por 'oculto': ¿no directamente observable o inescrutable (o sea, perteneciente a hipótesis que no son sometibles a contrastación)? *Problema en lugar de ése*: Los agnósticos y los escépticos sostienen que la explicación tiene límites insuperables. Muchas veces sus motivaciones, lejos de ser oscurantistas, son ilustradas; pues, por lo general, se oponen a las pretensiones de la especulación no científica, como el vitalismo, que afirma conocer la esencia de la vida. Hacer un estudio del agnosticismo y el escepticismo como crítica de la especulación acientífica.

9.7.9. El *principio de razón suficiente* puede concebirse como una hipótesis programática que afirma que todo es explicable (en principio). Formular, ilustrar y analizar el principio y averiguar si es lógico, epistemológico u ontológico, o si puede formularse en todas y cada una de esas fórmulas. Cf. M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1996, y consultar la bibliografía citada en él.

9.7.10. Esbozar una exposición de la explicación filosófica. Tener en cuenta que las generalizaciones supuestas por la explicación filosófica parecen caer en las siguientes categorías: (i) generalizaciones arbitrarias de nivel alto, que no pueden relacionarse con fórmulas contrastables; (ii) generalizaciones inductivas tomadas del conocimiento ordinario o el científico y promovidas al rango de principios; (iii) principios regulativos, propuestas y normas. *Problema en lugar de ése*: Analizar el concepto de explicación última. Recordar que los aristotélicos creían que tenían la explicación última de todo hecho a base de las cuatro causas, los newtonianos lo mismo, pero a base de las leyes mecánicas más la gravitación, y que los optimistas de nuestros días siguen creyendo que casi todo hecho físico tiene su explicación última en las leyes de la electrodinámica cuántica.

BIBLIOGRAFÍA

- Agazzi, E. (comp.). *The Problem of Reductionism in Science*, Dordrecht, Kluwer, 1991.
- Borger, R., y F. Cioffi (eds.), *Explanation in the Behavioural Sciences*, Londres, Cambridge University Press, 1970.
- Braithwaite, R. B., *Scientific Explanation*, Cambridge, Cambridge University Press, 1953. Traducción castellana, Madrid, 1965.
- Bunge, M., *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997.
- . *Materialismo y ciencia*, Barcelona, Ariel, 1981.
- . "Mechanism and Explanation", *Philosophy of the Social Sciences*, 27:410-465, 1997.
- Campbell, N., *What is Science?*, 1921, Nueva York, Dover Publications, 1952.
- Craik, K. J. W., *The Nature of Explanation*, Londres, Cambridge University Press, 1952.
- Feigl, H., y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, III, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962. Sobre todo "Explanation, Reduction, and Empiricism", por P. K. Feyerabend, "Deductive-Nomological vs. Statistical Explanation", por C. G. Hempel, "Explanations, Predictions, and Laws", por M. Scriven, y "Explanation, Prediction, and 'Imperfect' Knowledge", por M. Brodbeck.
- Gardiner, P., *The Nature of Historical Explanation*, Oxford, Oxford University Press, 1952.
- . *Theories of History*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1959, especialmente ocho artículos sobre la explicación histórica.
- Harvey, D., *Explanation in Geography*, Londres, Edward Arnold, 1969.
- Hempel, C. G., *Aspects of Scientific Explanation*, Nueva York, Free Press, 1965.
- Körner, S. (ed.), *Explanation*, Oxford, Blackwell, 1975.
- Mill, J. S., *A System of Logic*, 8a. ed., 1875; Londres, Longmans, Green, 1952. Libro III, caps. XI-XIV.
- Nagel, E., *The Structure of Science*. Nueva York y Burlingame, Harcourt, Brace & World, 1961, cap. 2., traducción castellana, Buenos Aires, 1968.
- Pap, A., *An Introduction to the Philosophy of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, caps. 18 y 19.
- Popper, K. R., *The Logic of Scientific Discovery*, 1935; Londres, Hutchinson, 1959, secc. 12, traducción castellana, Madrid, 1962.
- . "The Aim of Science", *Ratio*, I, 24, 1957.
- Symposia of the Society for Experimental Biology*, núm. XIV; *Models and Analogues in Biology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1960.

10. PREDICCIÓN

Las previsiones son respuestas a preguntas de la forma ‘¿Qué ocurrirá a x si se produce p ?’, ‘¿Cuándo se producirá x si se cumple p ?’ y otras análogas. Es corriente en la literatura científico-filosófica llamar a esas respuestas *predicciones*. Las predicciones se consiguen mediante teorías y datos: la predicción científica es en efecto una aplicación de la teoría científica. La predicción interviene por tres razones en el cuadro general de la ciencia: (i) *anticipa* nuevo conocimiento y, por tanto, (ii) es una *contrastación* de la teoría y (iii) una *guía* para la acción. En este capítulo nos ocuparemos de las funciones puramente cognoscitivas de la predicción, o sea, con lo que tiene de visión anticipada. En el capítulo 15 nos ocuparemos del aspecto metodológico de la predicción (que es su función de contraste), y en el capítulo siguiente atenderemos a su aspecto práctico (planeamiento).

10.1. PROYECCIÓN

Los conceptos de predicción y retrodicción pertenecen a la familia de ideas presidida por las nociones de anticipación y retrospección. Vale la pena distinguir los siguientes miembros de esa familia: (i) *expectativa* (en el sentido subjetivo de esa palabra), que es una actitud automática de anticipación que se encuentra en todos los animales superiores; (ii) *conjetura*, intento consciente –pero no racionalmente justificado– de representarse lo que es, fue o será, sin fundamento de ninguna clase; (iii) *profecía*, o conjetura en gran escala, basada en el supuesto fundamento de la revelación o de otra fuente esotérica “ciencia” oculta, “leyes” históricas nunca contrastadas, carismas de los jefes, etc.; (iv) *prognosis*, o conjetura informada, o predicción de sentido común, que es una previsión basada en generalizaciones empíricas más o menos tácitas; y (v) *predicción* (o *retrodicción*) científica, que es una previsión (o retrovisión) basada en teorías y datos científicos (o tecnológicos).

La expectativa es la base biológica de la predicción. Los animales obran con ciertos objetivos, el más alto de los cuales es la autoconservación de la especie. Los animales adaptan su comportamiento a un conjunto fijo de objetivos y a circunstancias que varían; y los animales superiores se adaptan en alguna medida con base en anteriores experiencias: tienen expectativas o anticipaciones de varias clases. Un perro al que se muestre el collar y la correa puede excitarse intensamente ante la perspectiva de un paseo. El animal está condicionado: ha aprendido a asociar automáticamente la correa con el paseo, y se alegra por anticipado; la asociación y la expectativa resultante se disiparán si se engaña repetidamente al animal. Los animales prehumanos tienen los objetivos insertos ya en el organismo por la selección natural y, por lo que sabemos hasta el momento, la adaptación de su comportamiento a la consecución de sus objetivos es completamente automá-

tica. Sólo el hombre puede llegar a tener una consciencia plena de algunos objetivos, alterarlos deliberadamente en alguna medida y arbitrar los medios más adecuados para conseguirlos: lo cual supone la predicción. Hablando el lenguaje de la biología, puede, pues, decirse que la predicción tecnológica es el tipo más alto de adaptación: mediante ella el hombre se adapta anticipadamente a las nuevas condiciones que él mismo configura. Pero la predicción científica no cumple ninguna función biológica o, por lo menos, no lo hace directamente: satisface nuestra curiosidad y convalida o refuta pretensiones de conocimiento.

La única superioridad de la conjetura sobre la expectativa es que la primera es una operación consciente; pero carece total o casi totalmente de fundamento, mientras que la expectativa arraiga en reflejos y tiene mayor probabilidad de éxito. La conjetura es en el mejor de los casos un intento no justificado racionalmente, sino meramente justificable a falta de conocimiento: puede tener éxito, sobre todo cuando las posibilidades son escasas e igualmente plausibles. La conjetura puede ser un juego divertido, un mal menor o una superstición peligrosa que aparte a la gente del honrado y duro trabajo científico. Toda la previsión conseguible se logra a base de la visión del presente y la retrovisión del pasado; y sin conocimiento propiamente dicho no podemos ni saber qué y cuáles son las presentes circunstancias. Por lo demás, ni siquiera la previsión fundada pasa de ser, en el mejor de los casos, probable. La creencia en la posibilidad de un conocimiento anticipativo sin disponer de previo conocimiento es un mero resto de pensamiento mágico. Hay sin duda procedimientos que dan información de ciertas clases y que pueden calificarse de conjeturas, como, por ejemplo, las divisiones sucesivas de un conjunto en subconjuntos complementarios hasta llegar al conjunto o al individuo que se busca (cf. los planteamientos arborescentes de la sec. 1.3). Pero se trata siempre de técnicas de planteamiento, ninguna de las cuales da conocimiento partiendo de la ignorancia, ni suministra conocimiento del futuro.

Las profecías, o conjeturas de gran escala como las del *Apocalipsis*, las de Nostradamus y las de ciertos políticos, son tan infundadas como las conjeturas. Pero también ellas pueden frecuentemente acertar, y sólo al lego le asombrará ese éxito. Para tener un espectacular éxito le basta a la profecía con ser obvia, vaga o ambigua, o sea, con evitar rigurosamente el ser exacta y, por consiguiente, estar sometida a riesgos. Los gitanos —las gitanas— son especialistas en profecías obvias (“Hará un viaje”, “Tendrá una carta”) y vagas (“Un día le ocurrirá una cosa maravillosa”, “Le esperan grandes preocupaciones”). Por lo que hace a la ambigüedad, es sabido el modo como han descollado en ella los oráculos. Cuando Crespo preguntó al oráculo de Delfos qué ocurriría si atacaba a los persas la respuesta fue: ‘Un gran reino será destruido’. Crespo no se dio cuenta de la ambigüedad de la sentencia y atacó: un reino —el suyo— quedó destruido, como estaba profetizado.

Las prognosis, o previsiones de sentido común, son de naturaleza muy distinta: se basan en generalizaciones y tendencias. La previsión del tiempo hecha por el campesino experimentado, la opinión del entendido sobre las carreras de caballos y el pronóstico del médico práctico se basan en determinadas generalizaciones empíricas, aunque éstas no se expliciten siempre. A veces la anticipación es una mezcla de profecía y prognosis. Tal es el caso de las previsiones de ficción científica hechas por escritores bien informados, como Verne o Wells. La conjetura y la profecía dan enunciados *incondicionales* de la forma

‘ocurrirá P ’. En cambio las prognosis son *condicionales* o enunciados hipotéticos de las formas ‘Como ocurre C , ocurrirá o (puede ocurrir) P ’, o bien ‘Si ocurre C ocurrirá (o puede ocurrir) P ’. O sea, mientras el profeta y la gitana, el político y el psicólogo precientíficos afirman *que ocurrirá P* , el práctico serio de cualquier oficio dirá prudentemente que *si C ocurre* (o puesto que C ha ocurrido), P ocurrirá o puede ocurrir. Su previsión es condicional, pero tiene algún fundamento –aunque sea débil–, y ese fundamento suele ser una generalización empírica sobre la conjunción regular o, al menos, la sucesión de los hechos, como por ejemplo: “Si se encuentra con x , y hará z .”

Por último, la predicción científica es tan condicional como la prognosis de sentido común, pero más afinada que ésta. En la predicción científica las generalizaciones usadas son *explícitas*, no *tácitas*, y son leyes o teorías; en cuanto a los datos, pueden comprobarse y mejorarse si hace falta por medio de técnicas científicas. Las generalizaciones mismas pueden haber sido conjeturadas, pero los datos tienen que ser propiamente tales, generalmente además comprobados, y la derivación del enunciado predictivo tiene que ser una pieza de trabajo racional. Por ejemplo, para prever (o retrodecir) lo que ocurrirá (u ocurrió) con la presión de un gas al disminuir su volumen en la mitad, podemos apelar a la ley “presión + volumen = constante”, para inferir que la presión aumentará (o aumentó) hasta el doble. La predicción (o retrodicción) será en este caso la argumentación siguiente:

$$\{p_1 V_1 = p_2 V_2, V_2 = V_1/2\} \vdash (p_2 = 2p_1)$$

Las premisas de la argumentación son el enunciado de una ley –a saber “ $p_1 V_1 = p_2 V_2$ ”– y algo de información sobre las circunstancias específicas, a saber, que el volumen del gas en el estado 2 (futuro o pasado) es la mitad de su volumen en el estado 1 (presente). En este caso particular el estado 2 puede ser posterior o anterior al estado 1 y, por tanto, la inferencia respecto del futuro es lo mismo que la inferencia respecto del pasado. Esto se debe a que el proceso supuesto para el ejemplo es un proceso plenamente reversible; dicho de otro modo: la ley de los gases ideales es independiente del tiempo, invariante, pues, respecto del intercambio entre futuro y pasado; la retrodicción hecha sobre su base no puede diferir por tanto de la predicción. Pero en general dos proyecciones, la que se orienta al futuro y la que mira al pasado, no coincidirán (cf. sec. 10.2).

El anterior ejemplo presenta las características esenciales de la proyección científica (predicción o retrodicción): (i) es *condicional*, en el sentido de que dice lo que ocurrirá (o puede ocurrir), o cuándo ocurrirá (o puede ocurrir) algo *si* se “cumplen” tales y cuales leyes y se dan tales y cuales circunstancias; (ii) es *teorética*, o *nomológica*, o sea, utiliza enunciados de leyes que, dicho sea de paso, no tienen por qué contener necesariamente la variable temporal; (iii) se refiere consiguientemente a conjuntos de *propiedades*, de cosas y acontecimientos, no a cosas y acontecimientos en su totalidad; y (iv) puede ser tan *exacta* cuanto lo sea nuestro conocimiento de las leyes y las circunstancias, mientras que las profecías son intrínsecamente indeterminadas y las prognosis pueden ser exactas, pero sin que existan medios para perfeccionar su exactitud o precisión, como no sea el de sustituirlas por predicciones científicas hechas con enunciados legaliformes rectificables y con datos. El sello de la predicción científica es la mejorabilidad de su exactitud, no la

exactitud mera: esa predicción puede ser tan precisa como lo es en astronomía (cf. fig. 10.1) o puede consistir en groseras estimaciones aproximativas, como las que son frecuentes en las ciencias del comportamiento. Lo relevante no es que la predicción científica sea precisa en sentido absoluto, sino el hecho de que tiene fundamento y, por eso mismo, puede perfeccionarse.

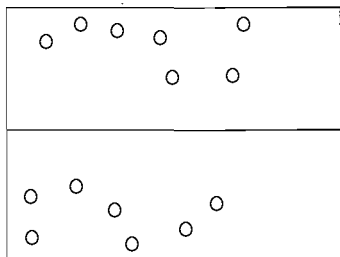


FIGURA 10.1. La constelación de la Osa Mayor actualmente (arriba) y dentro de 100 siglos (abajo).

La estructura lógica de la proyección es, pues, la misma que tiene la explicación, a saber, la de una *inferencia deductiva a partir de leyes y datos*:

$$\{Ley(es), Circunstancia(s)\} \vdash \text{Proyectandum}$$

Las premisas de la argumentación pueden llamarse *premisas del proyectans* y la conclusión *proyectandum* (lo predicho o retrodicho). Predicción (o retrodicción) se llama, unas veces, a la argumentación o inferencia, y otras veces a su conclusión. El nombre no tiene importancia siempre que se distingan los conceptos, y no se confunda la inferencia (o argumentación) predictiva con la proposición predictiva, que es la conclusión de ese razonamiento. Aunque la predicción no difiere lógicamente de la explicación se diferencia de ella en otros aspectos. Para empezar, el proyectandum no es una proposición cualquiera, sino una proposición singular con referencia factual, y nunca un enunciado legaliforme. Consiguientemente, los enunciados legaliformes que se presenten en el proyectans (en las premisas) serán siempre leyes de *nivel bajo*. Por ejemplo, para predecir el tiempo que tardará un proyectil en recorrer su trayectoria no usaremos las ecuaciones del movimiento de ese proyectil, sino ya una solución de las mismas. En la sec. 10.5 volveremos a hablar de las diferencias extralógicas entre la proyección y la explicación.

Para familiarizarnos con la proyección científica examinaremos algunos ejemplos de ella; el primero utilizará algo de conocimiento geológico. En 1820 se perdieron en un glaciar del Mont Blanc tres alpinistas, y se predijo que 40 años más tarde se hallarían sus cadáveres al pie del glaciar: así ocurrió. La generalización implicada por aquella predicción es que la velocidad del glaciar era constante y de unos 74 metros por año; los datos circunstanciales eran en este caso la localización aproximada de los cadáveres. La predicción era, naturalmente, del mismo tipo que las que hacemos respecto a horas de llegada cuando viajamos en automóvil. La proyección habría fracasado si la información hubiera sido falsa o si la velocidad de deslizamiento del glaciar se hubiera alterado de un

modo importante a consecuencia de algún cambio climático. Este último riesgo, el del posible cambio en el ritmo de algunas características del proceso, es peculiar a la predicción y no se da en la explicación.

Nuestro segundo ejemplo procede de la óptica. Supongamos que deseamos predecir la trayectoria de un rayo de luz que entra en la atmósfera horizontalmente. Para conseguirlo procedemos de un modo que es típico de la ciencia: empezamos por construir un *modelo ideal* de nuestro objeto (la atmósfera de la Tierra) y elegimos una teoría para manejar el modelo. Como primera aproximación bastará el modelo de la atmósfera constituido por un conjunto de tres capas de aire horizontales (cf. fig. 10.2). Luego supone-

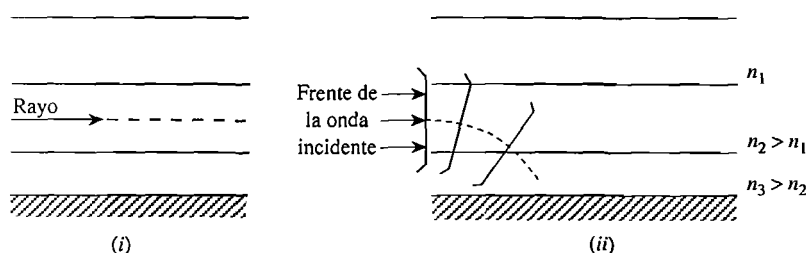


FIGURA 10.2. La trayectoria de la luz en una atmósfera de tres estratos horizontales, (i) según la óptica del rayo de luz, (ii) y según la óptica ondulatoria.

mos que la capa intermedia tiene un índice de refracción también intermedio entre el máximo del estrato inferior y el mínimo del estrato superior. Esos supuestos son, desde luego, hipótesis simplificadoras, casi ficciones que posibilitan la aplicación de una teoría sencilla. Ese modelo bastaría para una *predicción cualitativa*; una predicción cuantitativa exigiría un modelo más realista, aunque todavía ideal, porque supondría, por ejemplo, la esfericidad perfecta de la Tierra. Luego empezamos por aplicar al modelo la teoría óptica más simple, que es la óptica del rayo de luz; según esa teoría, un rayo de luz que viaje horizontalmente seguirá haciéndolo, porque en esa dirección el índice de refracción es constante y la luz no existe sino a lo largo del rayo. Pero, como sabemos, la observación no confirma esa predicción: en realidad nuestro "rayo" de luz se curva hacia abajo, cosa que, dicho sea de paso, es contraintuitiva cuando estamos acostumbrados a concebir la luz como compuesta de rayos o corpúsculos. En cambio, cualquier teoría ondulatoria de la luz podrá predecir la curvatura hacia abajo, simplemente porque el índice de refracción cambia según la vertical. Las porciones superiores del frente incidente de la onda luminosa viajarán más deprisa que las porciones inferiores, y como la trayectoria (rayo) es perpendicular al frente de la onda, el rayo de luz se curvará hacia abajo, o sea, hacia la región de índice de refracción más alto. Una vez conseguida la proyección cualitativa se intentará una *proyección cuantitativa*, para lo cual se irá complicando paso a paso el modelo inicial de la atmósfera.

A propósito de la atmósfera, hay que decir que el rápido progreso de la teoría meteorológica está dejando anticuadas nuestras tradicionales bromas sobre los servicios me-

teorológicos. El paso de la meteorología desde el estadio empírico hasta el teórico tiene como consecuencia el paso de la prognosis empírica a la predicción teórica. Las previsiones empíricas del tiempo se basan en generalizaciones empíricas sobre todo referentes a la distribución de la presión atmosférica y a los tipos de nubes. Es sin duda el método menos complicado y resulta bastante seguro para previsiones a plazo breve. Pero la meteorología está abandonando ese planteamiento empírico y fenomenológico y empieza a considerar la presión y el tipo de nubes como síntomas que hay que explicar a base de variables internas. La meteorología está empezando a enfrentarse con los mecanismos del tiempo atmosférico (por ejemplo, con los mecanismos de la formación de nieve y granizo) y está analizando las direcciones de desplazamiento del tiempo atmosférico y los cambios que se producen a lo largo de su ruta, viéndolos como resultados a gran escala de acontecimientos a pequeña escala. Dicho brevemente: mientras que la meteorología clásica no tenía nada que ver con la física, la meteorología contemporánea se plantea como una física del sistema atmósfera-océanos. Al abandonar el planteamiento fenomenológico ha ganado en consistencia externa y en profundidad, y está consiguiendo reglas fundadas y de confianza para la previsión del tiempo atmosférico.

En el nivel siguiente, que es el de la química, hallamos problemas de predicción como éste: dadas las clases y cantidades de reactivos, así como las condiciones físicas —como la temperatura y la presión—, predecir las reacciones que pueden tener lugar y, si es posible, los tiempos que tardarán en completarse. El problema inverso, de retrodicción, consistiría en averiguar cuáles fueron los agentes físicos y las condiciones físicas iniciales, dados los productos finales de la reacción, y éste es realmente un problema difícil. Otro problema típico de la química es el siguiente: Predecir si una fórmula dada corresponderá a un compuesto estable obtenible en el laboratorio. Rara vez se resuelven hoy día con precisión problemas de esa naturaleza, a causa del estado aún inmaduro de la teoría química. El químico, como el biólogo, puede aún conseguir descubrimientos importantes con mucho olfato y poca teoría, y ello, naturalmente, no porque la intuición sea una guía mejor que el cálculo, sino porque la teoría disponible es aún insuficiente para dar comprensiones intuitivas y proyecciones exactas. Un caso verdaderamente espectacular fue el descubrimiento (1962), imposible según la teoría hoy disponible, de que los gases “nobles” pueden formar compuestos estables, como el tetrafluoruro de xenon. La teoría de la combinación química vigente en aquel momento predecía que no existirían compuestos tales, y daba además sus buenas razones en favor de esa tesis. Por lo demás, la elección del flúor en la investigación acerca de los compuestos de gases nobles no fue casual ni accidental: se eligió porque se sabía que el flúor es el más reactivo de todos los elementos, de modo que si los gases “nobles” eran realmente capaces de reaccionar con algo, se combinarían con el flúor. Puede por tanto decirse que ese descubrimiento estuvo precedido por una prognosis semicientífica, estimulada en parte por una duda heterodoxa sobre la perfección última o definitiva de la teoría de las combinaciones químicas tal como se encontraba en aquel momento a disposición del científico.

En las ciencias que estudian los niveles superiores de la realidad se tiene también actualmente un progreso de la predicción, pero en muchos terrenos de esas ciencias sigue siendo una actividad muy imprecisa, no digna de confianza, y a veces hasta imposible. Los filósofos anticientíficos han proclamado que esas dificultades son intrínsecas al

tema; por ejemplo, que la predicción biológica es imposible porque los procesos vitales son espontáneos e indeterminados. No se han cumplido esas tenebrosas profecías: la predicción precisa es posible en la fisiología y la genética; otras predicciones menos exactas son posibles en ecología, y aun mucho más imprecisas en la teoría del aprendizaje; el mínimo de precisión se encuentra en la psicología social. Pero en algunos campos en los que hace pocos años no eran posibles más que previsiones cualitativas se están haciendo ya predicciones cuantitativas, y se tienen otras cualitativas nuevas en terrenos en los cuales, por falta de teoría, no se contaba hasta hace muy poco con ninguna posibilidad de previsión. Cuanto más madura es una ciencia—cuanto más ricas y mejor confirmadas son las teorías que contiene—, tanto más precisas son las predicciones que permite, y tanto más puede aprender de sus fracasos y de sus éxitos al proyectar. Mientras que la pseudociencia y la protociencia no hacen proyección alguna o bien formulan profecías irrefutables no basadas en ningún fundamento claro, la ciencia madura presenta los fundamentos de sus predicciones—que son datos y leyes—y puede por tanto corregirlos o incluso abandonarlos si le llevan a proyecciones falsas. Consiguientemente, no hay motivo para ser pesimistas en lo que hace al futuro de la proyección científica en las ramas de la ciencia hoy día aún subdesarrolladas, sobre todo si tenemos presente que no toda predicción científica es del tipo de la astronómica, como veremos en la sección siguiente.

Problemas

10.1.1. Examinar el tratamiento del sueño profético por Aristóteles y compararlo con su estudio por Freud. Cf. “De divinatione per somnium”: Obsérvese sobre todo que Aristóteles desconfía de la oniromancia porque no puede encontrar ninguna explicación de la misma, y no encuentra explicación porque no hay mecanismo que parezca concebible “el no ver causa probable de esa adivinación tiende a inspirarnos desconfianza”.

10.1.2. Analizar el ensayo “On Prophecies”, de F. Bacon, incluido, por ejemplo, en la edición *The Essays of Francis Bacon*, Londres, Thomas Nelson, s.f. Bacon mantiene en ese texto que “la mayoría de las profecías han sido imposturas, inventadas y fingidas después de los hechos por cerebros perversos y ociosos”, y que el crédito de que disfrutaban algunas profecías se debe en parte al hecho de que “los hombres recuerdan cuando han acertado, y nunca cuando han errado” (pp. 179-180).

10.1.3. Examinar las profecías de bonanza o de crisis que suelen hacer los economistas. Véase M. Bunge, *Economía y filosofía*, Madrid, Tecnos, 1982.

10.1.4. Sabiendo que una persona es un hábil calculador podremos predecir que será capaz de resolver un determinado problema aritmético. Eso puede incitarnos a concluir que las predicciones no requieren siempre generalizaciones. ¿Es correcta esa inferencia?

10.1.5. Proponer ejemplos de predicción científica, cualitativa y cuantitativa, y precisar qué podría falsearlas y cómo podrían perfeccionarse. *Problema en lugar de ése*: Examinar cómo predicciones sin éxito se reinterpretan a veces como confirmaciones de una teoría. Cf., por ejemplo, C. E. Osgood, *Method and Theory in Experimental Psychology*, Nueva York, Oxford U. P., 1953, pp. 370ss.

10.1.6. La mayoría de los análisis de la predicción suponen que la predicción exige leyes que contengan la variable tiempo (por ejemplo, ecuaciones diferenciales con el tiempo como variable independiente). Buscar contraejemplos y explicar el origen de la falacia. Cf. M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 12.

10.1.7. Estudiar el aspecto pragmático de la predicción, o sea, contemplarla como una actividad realizada antes de que ocurra el acontecimiento predicho, actividad que necesita su tiempo y se lleva a cabo con una determinada finalidad. Tener en cuenta el caso en el cual la operación predictiva ocupa más tiempo que el acontecimiento predicho.

10.1.8. Analizar las previsiones referentes al mercado y, sobre todo, analizar los fundamentos con base en los cuales dan sus dictámenes los consejeros de inversiones: establecer si obran a base de predicciones y, si tal es el caso, sobre qué base.

10.1.9. Estimar la tesis según la cual ciertos privilegiados sujetos tienen la facultad de precognición, ya porque infieren los acontecimientos futuros contemplando ciertos hechos presentes (éste sería el caso de los augures y oráculos), ya porque vean el futuro directamente (como los visionarios de que hablan los parapsicólogos). *Problema en lugar de éste:* Prevemos acontecimientos que acaso tengan lugar en el tiempo o dentro de un determinado intervalo temporal. ¿Sería posible prever los instantes o intervalos temporales mismos?

10.1.10. ¿Puede decir la predicción algo acerca de la estructura de una teoría, como sostiene G. Ryle en "Predicting and Inferring", en S. Körner, *Observation and Interpretation*, Londres, Butterworths. Nueva York, Academic Press. 1957?

10.2. PROYECCIÓN ESTOCÁSTICA

La proyección menos precisa es la mera *enumeración de posibilidades*, a condición de que no sean simples posibilidades lógicas, como en el caso de la profecía super-cauta: "Habrá guerra o no habrá guerra". Supongamos que un sistema (una molécula, una persona, un grupo social) se encuentra actualmente en el estado 1, y que todo lo que podemos prever dentro de una dada unidad de tiempo es que durante ese lapso el sistema se mantendrá en el estado 1 o pasará a los estados 11 o 12 (cf. fig. 10.3). Admitamos que también podamos suponer que si el sistema pasa al estado 11, entonces, al cabo de otra unidad de tiempo se mantendrá en ese estado o pasará de un salto al estado 111 o al esta-

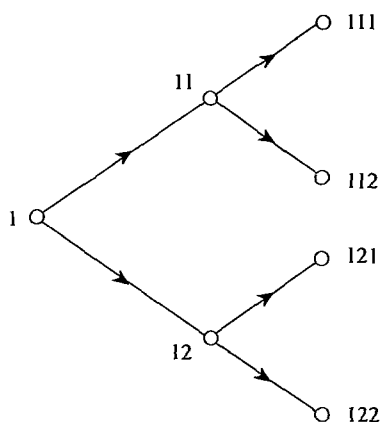


FIGURA 10.3. Ramificación de posibilidades.

do 112; y cosa análoga por lo que hace al estado 12. La descripción de un tal árbol de posibilidades (físicas) es todo lo que podemos conseguir en muchas situaciones de la vida cotidiana y de las ciencias sociales. (Prima facie, las proyecciones de esta clase no son susceptibles de contrastación, pero esa impresión es falsa: el sistema puede saltar de cualquiera de los estados descritos a otro nuevo e imprevisto, lo cual refutaría la previsión acerca del árbol de posibilidades.) Aunque cualitativa, una tal predicción será científica si las transiciones posibles se presentan con base en enunciados de leyes.

Viene luego la proyección en la cual cada posibilidad está cuantificada, o sea, que tiene atribuida una probabilidad determinada. Esta atribución de números puede hacerse con base en la experiencia pasada y/o con la ayuda de teoría. En cualquier caso, las varias probabilidades estarán relacionadas entre sí. En el ejemplo anterior tendríamos, entre otras, esta relación: $P(1 \rightarrow 1) + P(1 \rightarrow 11) + P(1 \rightarrow 12) = 1$: Si se atribuye una probabilidad a cada rama del árbol de posibilidades y las varias probabilidades satisfacen las condiciones impuestas por el cálculo (como, por ejemplo, la que acabamos de escribir), se tendrá una *proyección estocástica* que puede, además, contrastarse con precisión cuantitativa (con la limitación que es intrínseca a las hipótesis probabilísticas; cf. sec. 5.6). La mayoría de las predicciones acerca de transiciones o pasos hechas con la ayuda de teorías cuánticas son predicciones estocásticas porque emplean leyes estocásticas y, en particular, leyes relativas a las probabilidades de transición de un sistema dado.

En muchos casos que son interesantes para el científico social y para el historiador las varias probabilidades estimadas difieren mucho entre sí; por eso en primera aproximación puede estar justificado en esos campos el despreciar completamente las transiciones menos probables (las cuales, cuando son de probabilidad mínima, suelen llamarse *vedadas* o *prohibidas*). Así, en nuestro ejemplo podríamos tener $P(1 \rightarrow 11) \gg P(1 \rightarrow 12) \gg P(1 \rightarrow 1)$, e inferir de ello que *el desarrollo más probable de los acontecimientos* en la próxima unidad de tiempo es un salto del sistema del estado 1 al estado 11. En este caso predeciríamos la *tendencia* del cambio, o la dirección más probable del mismo, y no los estados futuros con toda concreción. La ciencia social se beneficiaría sin duda de un estudio teórico y empírico más intenso de las probabilidades de transición: eso le permitiría formular proyecciones más precisas —más exactamente contrastables, por tanto— y, en algunos casos, prever lo que parece ser el curso más probable de los acontecimientos. En última instancia, esto es lo que se hace en física atómica y en la vida cotidiana, con la peculiaridad de que en el último caso nuestras proyecciones estocásticas son por lo general cualitativas, no cuantitativas, y sin fundar o sólo débilmente fundamentadas, y no basadas en teorías científicas. Lo importante es que la proyección estocástica es científicamente respetable, y que bastaría tener eso bien presente para contar con una posibilidad de acelerar la marcha de las ciencias no-físicas.

Se llamará *individual* la proyección referente a un individuo (físico o cultural), y *colectiva* la que se refiere a un agregado. (La distinción entre un individuo tomado como bloque y un agregado es en gran medida dependiente del nivel de análisis que se decida adoptar, pero no se agota toda en esa dependencia: un agregado puede constituir un sistema, o sea, un individuo de un nivel superior, aunque sus partes no estén densamente interrelacionadas. Algunos agregados estadísticos son sistémicos —las poblaciones biológicas, por ejemplo—, mientras que otros no lo son —por ejemplo, una secuencia de bo-

das.) Sea individual o colectiva, una proyección puede basarse en leyes no-estocásticas o en leyes estocásticas, según el conocimiento disponible y el objetivo. Así, por ejemplo, el comportamiento de un *quantum* de luz sólo es proyectable probabilísticamente a base de las leyes probabilísticas de la óptica cuántica, mientras que el comportamiento de un gran agregado de *quanta de luz*, como los que constituyen un pincel luminoso, será proyectable a base de las macroleyes clásicas que surgen de las microestructuras de los fotones (cf. sec. 9.5). Un agregado estadístico no tiene por qué ser necesariamente *actual*: también puede ser *potencial*, esto es, puede consistir en entidades coexistentes laxamente interrelacionadas o puede ser una secuencia casual de entidades sucesivas, como una serie de mediciones de una determinada magnitud. En cualquier caso puede resultar un comportamiento regular partiendo del comportamiento aproximadamente independiente de los componentes, y en ambos casos las estructuras serán colectivas, o sea, que todo componente individual, tomado en sí mismo, parecerá indeterminado y cumplirá al mismo tiempo una estructura general.

Toda regularidad estadística (tendencia o ley) refiere a un agregado, esto es, dibuja una estructura colectiva; pero no toda regularidad referente a un agregado es estadística, ni siquiera probabilística. Llamaremos *estadística* a una proyección si se basa en regularidades estadísticas (tendencias o leyes). Una proyección estadística es colectiva en el sentido de que se refiere a un agregado estadístico, o sea, a una colección de entidades de una determinada clase y con cierta dosis de casualidad interna en algún respecto, por poco casuales que puedan ser en otros aspectos. La explicación de las regularidades estadísticas mismas requerirá un análisis que halle componentes a otro nivel diferente (cf. sec. 9.5), pero la predicción estadística pasará por alto ese detalle y se referirá al todo y en su propio nivel.

La predicción estadística más sencilla es tal vez la del comportamiento político en una sociedad estable. Es la más sencilla, y también la más segura, si se basa en datos precisos recogidos por muestreo al azar. El supuesto principal que desempeña el papel de generalización en las predicciones electorales resulta tan obvio que no suele expresarse: es la “ley de conservación” según la cual la composición política de una población cualquiera se mantendrá aproximadamente constante desde el momento de tomar la muestra hasta el día de las elecciones, siempre que ese lapso de tiempo no rebase unas pocas semanas. La información circunstancial es, naturalmente, el conjunto de los datos acerca de la composición o actitud política de una muestra representativa de la totalidad de la población. Si la elección no confirma la predicción, puede echarse la culpa a la muestra o a un desplazamiento de las tendencias en el último momento, lo que supone un fallo de la “ley” usada en la inferencia. Un esquema análogo sigue a las predicciones de rendimiento hechas por los psicólogos que seleccionan personal: también ellos suponen que la calificación de las capacidades de que dependen los éxitos del sujeto no van a cambiar apreciablemente en el curso del tiempo. Y esa característica tienen también algunas retrodicciones paleontológicas: podemos, por ejemplo, medir la dispersión de un determinado carácter, como la razón entre la longitud y la anchura del cráneo, basándonos en una muestra de una especie animal viva, y luego podemos extrapolar los resultados hacia el pasado, hasta una población extinguida que se considere antepasado inmediato de la estudiada. Este procedimiento puede evitarnos un salto inferencial injustificado por el cual afirmáramos

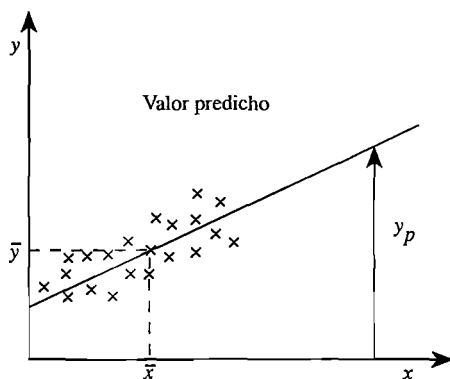
que un determinado cráneo fósil pertenece a una nueva especie simplemente porque tenga una razón anchura-longitud poco frecuente: si la discrepancia se encuentra dentro de la dispersión de la especie viva estudiada, podemos perfectamente considerarlo como un ejemplar ordinario. La generalización supuesta en este caso es, naturalmente, la de la constancia aproximada de la razón anchura-longitud de los cráneos de cualquier especie dada en el curso de un tiempo dado, por ejemplo, un millón de años; se trata de una hipótesis rectificable.

Viene luego la predicción a base de líneas determinadas de tendencia o desarrollo. El objetivo es en este caso prever el valor más probable de una variable y , partiendo del valor correspondiente de una variable correlatada, x , y de ciertos parámetros estadísticos, como promedios y desviaciones estándar, o medias. En este caso puede hacerse una estimación cuantitativa precisa, especialmente si la correlación entre x y y es intensamente lineal, o sea, si los puntos (datos) establecidos en el plano de coordenadas tienden a agruparse a lo largo de una línea recta (cf. fig. 10.4). Pero el cálculo, por preciso que sea, lo es de un valor probable, o sea, del valor en torno al cual es probable que se encuentre el valor real; éste diferirá con toda probabilidad del valor computado.

FIGURA 10.4. Extrapolación con la ayuda de la ecuación

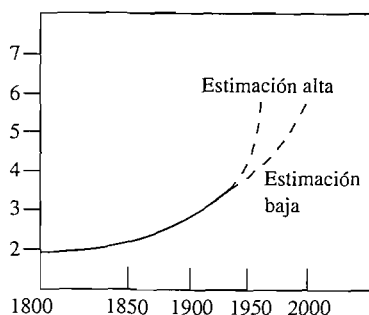
$$y_p(x) = \bar{y} + \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot r(x, y) \cdot (x - \bar{x}),$$

en la que $r(x, y)$ es la correlación entre x y y ,
y σ_x , σ_y son las desviaciones estándar.



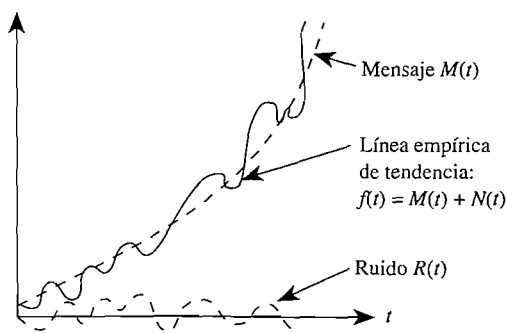
La línea de tendencia no tiene que poseer necesariamente un eje rectilíneo: la misma utilidad que un eje rectilíneo tiene cualquier línea sustancialmente regular. Un caso típico es el del crecimiento de la población humana. La tendencia del crecimiento de la población es el resultado de la interacción de cierto número de leyes poco conocidas. Toda proyección demográfica, hacia el futuro o hacia el pasado, es una extrapolación de la tendencia "observada" en el último siglo, más o menos; dicho de otro modo: la proyección se hace con base en el supuesto de que la actual tasa relativa de crecimiento es más o menos constante. Pero ésa es una ficción; como muestra la incapacidad en que se encuentra la demografía de predecir más de un decenio de evolución demográfica. Y esto a su vez sugiere con mucha eficacia que no hay una *ley única* del crecimiento de la población humana, sino simplemente una línea tendencial, que probablemente resulta de la interferencia de cierto número de leyes, y que puede proyectarse entre una estimación baja y otra alta: Es así que en la década de 1960 se predijo que la población mundial en el año 2000 estaría comprendida entre cinco y siete mil millones. De hecho llega a poco más que seis. Véase la figura 10.5.

FIGURA 10.5. Proyección de la población mundial. Línea llena: valores estimados para el pasado reciente. Líneas punteadas: extrapolaciones –optimista y pesimista– de la línea tendencial.



Las líneas de tendencia son, como instrumentos de proyección, dignas de escasa confianza si no se basan en alguna teoría –por ejemplo, una teoría del crecimiento de la población– que dé cuenta del mecanismo causante de la tendencia básica. En este caso la línea central puede acercarse mucho a una línea propiamente dicha, y las desviaciones respecto de ella pueden atribuirse a perturbaciones casuales, como los accidentes históricos. Hablando el lenguaje de la teoría de la información, puede decirse que la línea central será el mensaje al que se sobrepone un ruido casual (cf. fig. 10.6). A su vez, una teoría más profunda puede analizar el ruido descubriendo en él otro mensaje y una perturbación de orden superior (de menor amplitud), que será el ruido ya inanalizable con el conocimiento disponible. En conclusión: podemos prestar fe a líneas de tendencia *teóricamente analizadas* porque al conocer los mecanismos causantes de sus principales rasgos tenemos algunas *razones* para suponer que “el futuro se parecerá al pasado”. Y la fiabilidad será tanto mayor cuanto más profunda sea nuestra resolución de cada ruido en un mensaje y un ruido más tenue. En cambio, si no se discierne mensaje alguno no nos encontramos en presencia de una línea de *tendencia* propiamente dicha, sino ante puro azar, en cuyo caso no es posible más que una vaga predicción estadística, referente a la secuencia como un todo y no a sus componentes. Éste es el caso de las series temporales al azar (cf. sec. 6.6).

FIGURA 10.6. Análisis de una línea de tendencia $f(t)$, descompuesta en un mensaje $M(t)$ y un ruido casual $R(t)$. El ruido es el residuo no analizado.



Las series temporales al azar, a diferencia con las leyes estocásticas y las líneas de tendencia, no tienen ninguna potencia proyectiva. No toda refiguración o historia de un desarrollo de acontecimientos tiene potencia proyectiva, ni tampoco se la da la precisión con que se haya llevado a cabo: sólo tienen ese poder los enunciados de leyes, los cuales no describen acontecimientos enteros, sino aspectos seleccionados de los mismos. La consecuencia práctica está clara: el hacer crónica no puede darnos previsión porque no nos da comprensión. La proyectabilidad (la predecibilidad o la retrodecibilidad) depende de nuestro conocimiento de leyes, y en algún terreno ese conocimiento puede ser escaso o hasta nulo. Consiguientemente, el fracaso en el intento de proyectar acontecimientos de una determinada clase no probará que se trate de acontecimientos intrínsecamente improyectables, ni siquiera de acontecimientos de puro azar. Más bien habrá que sospechar que falta en ese campo una teoría en sentido propio.

Demasiado frecuentemente se echa al azar la culpa de nuestra incapacidad de proyectar. Como hemos visto, no hay azar más que cuando se cumplen ciertas regularidades estadísticas (cf. sec. 6.6). Por ejemplo: no podemos creer que una moneda sea correcta y se haya lanzado al azar a menos que, en una larga secuencia de lanzamientos, se obtenga una razón cara-cruz aproximadamente estable. Los acontecimientos casuales son sin duda individualmente impredecibles, pero la impredecibilidad no significa siempre carácter casual; además, la casualidad individual redundante en regularidades colectivas, y lo que en un determinado contexto cognoscitivo se presenta como un acontecimiento casual puede dejar de parecer accidental en otro contexto, en el cual, por lo tanto, resultará proyectable. Por ejemplo: hasta hace poco se consideraba que todas las mutaciones eran casuales, por la sencilla (e insuficiente) razón de que no se había descubierto ninguna relación constante entre ellas y agentes controlables; es verdad que se habían podido inducir experimentalmente ciertas mutaciones por medio de radiaciones, pero nunca de un modo predecible, porque la radiación obra a la brutal manera de las bombas. Pero en 1944 se consiguió inducir mutaciones predecibles con precisión en ciertos neumococos por medio del ácido desoxirribonucleico (ADN); a partir de ese momento ha habido que distinguir entre mutaciones espontáneas y, por tanto, impredecibles hasta el momento (e interpretadas como errores en la reduplicación de las moléculas de ácido nucleico) y mutaciones dirigidas, predecibles en consecuencia. Ese logro ha sido un primer paso en el dominio de la evolución de las especies, evolución que ha sido hasta ahora un proceso casual, aunque fuera a lo largo de líneas de tendencia determinadas. De hecho la evolución es parcialmente casual porque las mutaciones, que suministran el material en bruto a la selección natural, son independientes de su valor de adaptación, en vez de producirse aplicadamente con la intención de reforzar la adecuación del individuo para sobrevivir adaptándolo a su ambiente. El ambiente determina a un nivel superior las líneas de tendencia mediante la selección de los mutantes. Si conseguimos dirigir algunas mutaciones manipulando ácidos nucleicos, podremos guiar la evolución cortando genotipos a medida y disminuyendo tal vez el despilfarro natural.

La inferencia es clara: no hay acontecimientos que sean intrínsecamente casuales y, consiguientemente, no hay acontecimientos intrínsecamente improyectables. La casualidad y la proyectabilidad son ambas *relativas*: el azar es relativo al contexto físico total, y la proyectabilidad lo es al estado del conocimiento. La expresión 'x es improyectable'

debe por tanto considerarse incompleta y errónea si se toma al pie de la letra. En vez de ella deberíamos decir: 'x es improyectable a base del cuerpo de conocimiento y'. Si se cambian la teoría o la información perteneciente al particular cuerpo de conocimiento usado para intentar proyectar x, x puede hacerse proyectable. Los casos siguientes deben reforzar nuestra conclusión de que la proyectabilidad es esencialmente relativa al instrumento de proyección, o sea, al conocimiento disponible.

Consideremos primero una gran colección de moléculas que se mueven individualmente al azar, y tales que el sistema en su conjunto se encuentra en equilibrio térmico, internamente y con su ambiente. No sabemos cuál es la velocidad de cada molécula concreta, pero poseemos la ley de Maxwell-Boltzmann sobre la distribución de las velocidades: esta ley es estadística en el sentido de que se refiere a un agregado estadístico, pero está muy lejos de ser una generalización empírica: es en realidad un teorema de la mecánica estadística y, por tanto, tiene una potencia proyectiva superior a la de cualquier regularidad estadística no analizada, como una línea de tendencia. La ley predice la distribución de las velocidades que efectivamente se medirán si se perfora el recipiente; a base de eso permite predecir la energía media, la temperatura y la densidad del sistema. Todas son predicciones colectivas, o sea, referentes al sistema tomado como un todo. La misma teoría da también proyecciones individuales, pero de tipo probabilístico: no nos dirá cuál es la velocidad efectiva de una molécula tomada al azar, pero sí la probabilidad de que su velocidad se encuentre entre tales y cuales límites. La retrodicción dará el mismo valor que la predicción, porque las leyes de equilibrio, como la de Maxwell-Boltzmann, no dan intervención al tiempo. Las cosas resultan muy diferentes tanto en situaciones que no sean de equilibrio cuanto en el nivel inferior de las partículas constituyentes: aquí puede perderse la simetría entre la predicción y la retrodicción por la irreversibilidad de los procesos mismos.

Consideremos, por ejemplo, un electrón disparado con una determinada y conocida velocidad por algún dispositivo o por alguna fuente natural. Si se mide la posición del electrón puede retrocedirse su trayectoria con bastante precisión, aunque se desdibuje el valor de la posición; en cambio la predicción de su trayectoria futura será más bien confusa, precisamente por ese desdibujamiento de su posición (cf. fig. 10.7). En este caso es

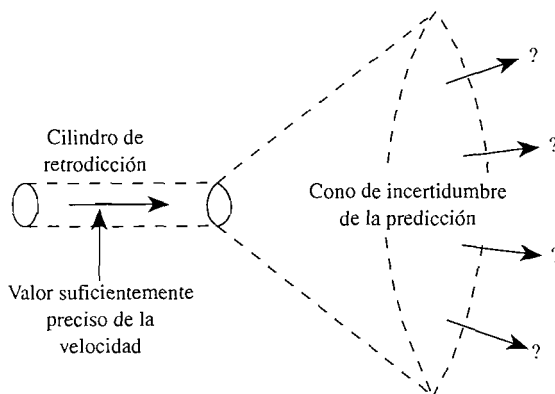


FIGURA 10.7. Predicción incierta y retrodicción suficientemente cierta en física atómica. Desde el momento en que se hace una medición de posición puede retrocedirse la trayectoria del electrón dentro de un cilindro; en cambio, sólo puede preverse dentro de un cono.

posible una retrodicción bastante segura, mientras que la predicción es casi imposible —en la actual teoría de los *quanta*. No hay, desde luego, razón para pensar que toda teoría futura conserve ese rasgo. Lo que nos interesa precisar es que hay casos en los cuales en una determinada teoría es posible la retrodicción, mientras que no lo es la predicción, y al revés en otros casos.

La retrodicción es la imagen especular de la predicción única y exclusivamente cuando la línea entre el pasado y el futuro es una línea única: tal es el caso de las balas o proyectiles macroscópicos (y no el de los electrones), y el de los rayos de luz (pero no el de los *quanta* de luz); mas en modo alguno es ése el caso de un agregado estadístico de átomos, como es un vaso de agua. En realidad, las más diversas historias pasadas de los componentes individuales de un agregado estadístico pueden terminar en uno y el mismo estado final; y siendo ésa la situación, es claro que el conocimiento de ese estado final y la ley del proceso en su conjunto no bastan para reconstruir la historia pasada del sistema. La razón es que en el caso de los agregados estadísticos las historias precisas de los componentes individuales son irrelevantes. Piénsese en el enorme número de trayectorias de una moneda lanzada que terminan igualmente en el estado final al que llamamos 'cara'. Una situación análoga se produce en procesos que no son ostensiblemente casuales, aunque surgen de mezclas casuales en un nivel inferior, como es la mezcla de un conjunto de cuerpos que se encuentran inicialmente a diferentes temperaturas: un determinado valor de la temperatura de equilibrio final puede alcanzarse de infinitos modos distintos, esto es, partiendo de infinitas combinaciones diversas de temperaturas individuales (cf. fig. 10.8). En todos esos casos, cuanto más azar menos memoria, y viceversa.

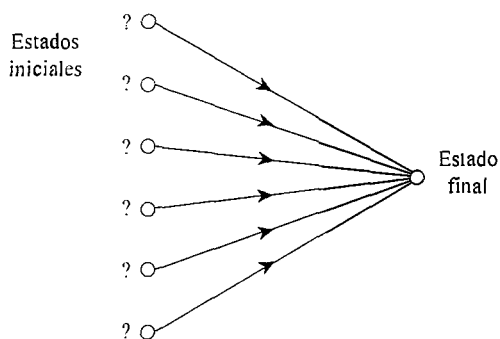


FIGURA 10.8. La relación unívoca de muchos a uno entre estados iniciales y un estado final de equilibrio impide la retrodicción.

Hablando en general, dadas las leyes de un proceso irreversible y el estado inicial de un sistema que está atravesando ese proceso, puede predecirse en principio el estado final del sistema, ya sea con suficiente certeza, ya sea con alguna probabilidad. Pero si no se tiene más ayuda que la de las leyes estocásticas, será en principio imposible retrazar hacia atrás o retrodecir la evolución del sistema partiendo en la inferencia de un estado final y buscando su estado inicial. Sólo un conocimiento del estado final y de las leyes individuales de los componentes del agregado posibilitaría la retrodicción, en principio al menos, aunque acaso ni entonces fuera técnicamente posible para lapsos de tiempo algo

considerables, a causa de las incertidumbres ya en el mero conocimiento del estado final y en el de las influencias que han obrado sobre el sistema a lo largo de su historia.

Para resumir: (i) la proyección estocástica, colectiva (estadística) o individual (probabilística) no es menos importante e interesante que la proyección no-estocástica (“determinista”), particularmente si se hace con la ayuda de teorías, y sobre la base de generalizaciones estadísticas empíricas; (ii) la predecibilidad no supone o implica la retrodecibilidad, ni a la inversa; y (iii) la proyectabilidad es relativa al conocimiento disponible, y no intrínseca a los hechos. Ahora podemos plantearnos algunas complejidades de la proyección histórica.

Problemas

10.2.1. Formular y analizar una línea estadística de tendencia y una ley estocástica, indicando los aspectos colectivos y los aspectos individuales de las proyecciones que pueden hacerse a base de la última. *Problema en lugar de éste*: En la vida cotidiana hacemos previsiones bastante indeterminadas y obramos de acuerdo con ellas. Por ejemplo, “guardamos para cuando no haya”, suponiendo que vendrá algún día en el cual no “habrá”, sin precisar qué. También en tecnología se toman medidas para hacer frente a acontecimientos que son imprevisibles en detalle (por ejemplo, la rotura o el desgaste imprevisible de partes de máquinas por factores externos). En todos esos casos prevemos conjuntos de hechos posibles, no propiamente hechos singulares. Dilucidar este concepto de previsión indeterminada.

10.2.2. ¿Qué se sabe y qué se ignora cuando no se dispone más que de leyes estocásticas? ¿Puede predecirse el comportamiento individual con la ayuda de tales leyes? Caso afirmativo, ¿de qué modo? Caso de respuesta negativa: ¿tenemos entonces que apelar a la intuición? *Problema en lugar de éste*: Analizar la pretensión según la cual en psicología la previsión individual (clínica), que no se basa ni en enunciados estadísticos ni en enunciados de leyes, puede ser tan precisa como la predicción actuarial (estadística), o hasta más que ella. ¿Cómo se hacen y convalidan tales pronósticos individuales? Cf. P. E. Meehl, *Psychodiagnosis*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1973.

10.2.3. En la década de 1960 se predijo, por extrapolación, que recursos no renovables, tales como el petróleo, se agotarían en menos de un siglo. Sin embargo, el precio del petróleo no aumentó sensiblemente, y la mayoría de los economistas sigue haciendo de cuenta que los recursos naturales son infinitos. ¿Por qué?

10.2.4. Estudiar cómo el azar en lo pequeño (por ejemplo, en la mutación génica) puede desdibujarse en lo grande (por selección o por establecimiento de una media). Dicho de otro modo: estudiar el problema de cómo el azar a un nivel puede dar lugar a falta de azar en otro.

10.2.5. El choque de dos automóviles en una esquina puede ser, para los conductores que lo sufren, un acontecimiento accidental (casual): de no ser así, lo habrían evitado. Pero un espectador que haya estado viendo el choque desde una terraza puede haber previsto el accidente: el mismo acontecimiento estaba para él perfectamente determinado. Resolver esa paradoja.

10.2.6. Elaborar la idea de que, aunque el azar puede ser objetivo (o sea, aunque haya distribuciones y procesos al azar en la realidad), nuestro juicio acerca del grado de azar es relativo a un conjunto de enunciados de leyes. Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1963, cap. 12.

10.2.7. Hacer un estudio detallado de la retrodicción. Examinar sobre todo (i) enunciados de leyes que posibilitan la predicción, pero no la retrodicción; (ii) el caso inverso, y (iii) la retrodicción

a base de leyes estocásticas. Puede verse un ejemplo de (i) en M. Bunge, "A General Black Box Theory", *Philosophy of Science*, 30, 346, 1963; de (ii) en M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires. Sudamericana, 1996; de (iii) en S. Watanabe, "Symmetry of Physical Laws", parte III: "Prediction and Retrodiction", *Reviews of Modern Physics*, 27, 179, 1955.

10.2.8. Examinar la tesis de que la impredecibilidad en un determinado dominio garantiza la inferencia de la indeterminación objetiva de los acontecimientos en ese dominio. Indicación: distinguir entre determinación (que es un predicado ontológico) y predecibilidad (que es un predicado epistemológico). Cf. M. Bunge, *La causalidad*, cap. 12.

10.2.9. Suponiendo que todo lo predecible en base a alguna ley está determinado de algún modo, estudiar la afirmación de que ese supuesto lleva a alguna de las siguientes tesis: (i) "Todo lo determinado es en principio predecible". (ii) "Toda cosa determinada es predecible en la práctica". (iii) "Una cosa es determinada si y sólo si es predecible en principio o en la práctica".

10.2.10. Se dice a veces que una teoría científica con potencia explicativa puede carecer de toda potencia predictiva; como ejemplo destacado de ello se menciona la teoría de la evolución. Examinar esa idea. Sugerencia: empezar por averiguar si de hecho no se realizan predicciones en microbiología, y retrodicciones en la paleontología de los vertebrados con la ayuda de la teoría de la evolución. En la sección 10.4 se habla de la capacidad proyectiva de esta teoría.

10.3. PROYECCIÓN HISTÓRICA

Constantemente hacemos proyecciones hacia atrás, o sea, retrodicciones. La vista de una abuela hermosa sugiere imaginativamente lo que fue la hermosa novia, por la generalización de que la belleza, igual que el poder adquisitivo de la moneda, puede deteriorarse, pero no aumentar; un libro instructivo sugiere el intenso esfuerzo de su autor, a base del supuesto de que el aprendizaje y el trabajo de creación no se obtienen gratis; y así sucesivamente. Deseamos reconstruir el pasado igual que deseamos averiguar si estamos atados a él: no sólo por curiosidad intelectual, sino también porque para entender el presente tenemos que entender cómo se originó, y porque para prever necesitamos información, y toda información propiamente dicha se refiere a hechos ya pasados.

La retrodicción hipotética del pasado humano es, desde luego, tarea específica de la historia. Pero la historia no es la única ciencia histórica si se entiende 'histórica' en el sentido de 'retrodictiva'. La cosmología incluyendo en ella las teorías de la evolución de los astros, intenta reconstruir la historia del universo y de sus componentes. La geología intenta retrodecir el pasado de la tierra. La química se ocupa de formular hipótesis acerca de la historia de los elementos y de sus compuestos. Y la paleontología se propone retrazar el origen y la evolución de los seres vivos. Todas esas ciencias suministran ejemplos de retrodicción científica, a veces en un sentido estricto, otras en un sentido laxo. Llamaremos *proyección científica estricta* a la que no se hace más que con teorías científicas y datos científicos. *Proyección científica laxa* significará para nosotros la proyección hecha con la ayuda de teorías científicas y datos más supuestos referentes a líneas de tendencias y a estructuras o esquemas y que no son leyes científicas propiamente dichas. La proyección estricta es típica de las ciencias físicas, aunque no exclusiva de ellas, mientras que la proyección laxa es típica de las ciencias del hombre en su estado actual.

Un ejemplo elemental de retrodicción teórica estricta es la operación de fechar estratos geológicos mediante el estudio de las rocas sedimentarias. Conociendo la tasa de sedimentación y el espesor de la roca puede estimarse (o sea, calcularse con aproximación) el tiempo requerido para la formación de la roca. La ley es en este caso “ $v = \text{constante}$ ”, y la velocidad de sedimentación, v , se mide en el laboratorio: el dato de circunstancia es el espesor de la roca sedimentaria, h ; la inferencia es simplemente: a partir de $v = h/t$ calculamos el tiempo t , o sea, la edad de la roca. Por ejemplo, el espesor máximo del periodo cuaternario en Europa es de unos 1 000 m, y la velocidad de sedimentación se ha estimado así: $v = 0.03 \text{ cm/año}$. Por tanto, la duración máxima de esa era fue $t = 1\,000 \text{ m} / 0.0003 \text{ m/año} \cong \cong 3\,000\,000$ de años. La fecha de las rocas radiactivas y de los meteoritos por su contenido (pesado) en plomo y helio procede según un esquema análogo; lo mismo puede decirse de las operaciones que sirven para fechar con ayuda del carbono radiactivo; en estos casos se utiliza una ley bien conocida (aunque rectificable en principio) de decadencia radiactiva.

La predicción nomológica o estricta es posible siempre que (i) hay una correspondencia biunívoca entre los estados pasados y los futuros, o sea, siempre que el sistema tiene una “memoria” intensa, de tal modo que su historia puede retrazarse hacia atrás examinando, por así decirlo, las cicatrices del sistema; y (ii) siempre que se conoce la ley de evolución. (Dicho de otro modo: cuando pueden invertirse las funciones que proyectan el pasado sobre el presente.) Sólo en ese caso es la retrodicción precisamente la inversa de la predicción. Es claro que sólo una limitada clase de sistemas satisface esas condiciones; por eso la retrodicción nomológica o estricta está lejos de ser universalmente posible.

Un tratamiento general –pero superficial– del problema puede darse utilizando una representación del sistema según el principio de la caja negra, o sea, una representación que no especifique ni la constitución ni la estructura del sistema. Supongamos que ‘ I ’ representa una variable de *input*, o factor, ‘ O ’ la correspondiente variable de producto, u *output*, y ‘ M ’ un operador que, aplicado a la columna de los valores de *input*, da la columna de *outputs*. Dicho brevemente: $O = MI$ (cf. figs. 8.16 y 10.9). El *problema proyectivo directo* es entonces: dados los valores pasados (o presentes) del *input*, I , y el operador mecanismo, M , hallar los valores presentes (o futuros) del *output*, O . Este problema se resuelve realizando la operación MI , que da O . El *problema proyectivo inverso* es: dados los presentes valores del *output* y el operador M mecanismo, hallar el *input* pasado que

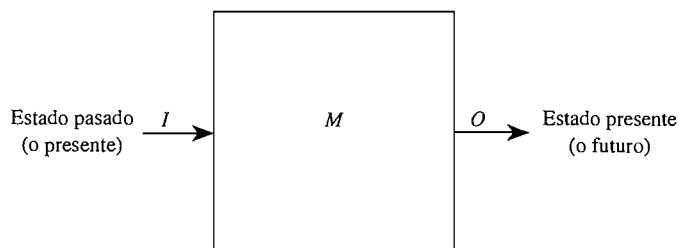


FIGURA 10.9. La caja de proyección que relaciona los *inputs* pasados, I , con *outputs* presentes, O . El operador de conversión, M , especifica la clase de caja, aunque sin indicar sus interioridades.

produjo la actual situación O . El problema, si resulta resoluble, lo es hallando el inverso M^{-1} del operador M y aplicándolo a la columna de los datos disponibles, puesto que $I = M^{-1}O$. Mientras que el problema de proyección directo es en principio resoluble—siempre que se disponga de la ley “ $O = MP$ ” y de los datos I —, el problema inverso puede no serlo: el operador inverso, M^{-1} , del operador mecanismo puede no existir o no ser único. En el primer caso no será posible ninguna retrodicción; en el segundo se obtienen varias retrodicciones incompatibles, generalmente sin estimación de sus respectivas probabilidades. Sólo si se dan ciertas condiciones restrictivas establecerá M^{-1} una correspondencia biunívoca entre el *output* dado y los *inputs* buscados (cf. problema 10.2.7). Dicho de otro modo: la retrodicción estricta no es posible más que para una limitada clase de cajas negras.

Si la historia del sistema es poco relevante para su estado actual, o si se desconoce el esquema de su evolución (ya porque no exista, ya porque no hayamos conseguido hasta ahora dar con él), entonces puede probarse suerte con la retrodicción laxa. Al igual que la predicción, la retrodicción laxa puede consistir en extrapolaciones o interpolaciones. Una *extrapolación* es una proyección sobre un área inexplorada, lo que hace de ella una operación arriesgada y, caso de tener éxito, muy rentable; una *interpolación* es la inferencia, más cauta, que consiste en hacer una estimación entre los datos de bastante confianza (cf. fig. 10.10). Las especulaciones sobre el origen de las instituciones sociales son extrapolaciones, mientras que la reconstrucción hipotética de un eslabón perdido en una teoría evolucionista es una interpolación.

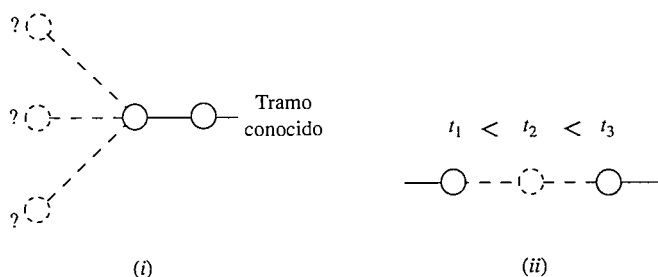


FIGURA 10.10. Retrodicción laxa: (i) extrapolación; (ii) interpolación.

Las hipótesis sobre el origen de la vida son un caso importante de interpolación retrodictiva. Considerada desde el punto de vista de la evidencia, se trata más bien de una extrapolación, puesto que la proyección va más allá de toda evidencia fósil. Pero si se acepta la hipótesis de que la vida ha surgido espontáneamente—aunque según leyes— a partir de la materia no viva, entonces una y otra materia, tal como las conocemos hoy, se convierten en puntos de referencia fijos entre los cuales hay que interpolar las primeras cosas vivas. Eso requiere, desde luego, la hipótesis adicional de que la materia no viva no haya cambiado apreciablemente en nuestro planeta durante los dos últimos billones de años (cf. fig. 10.11).

Otro ejemplo típico de interpolación hacia atrás ofrece la paleobiología cuando se apoya en la teoría de la evolución. La doctrina de la fijez de las especies quitaba, natu-

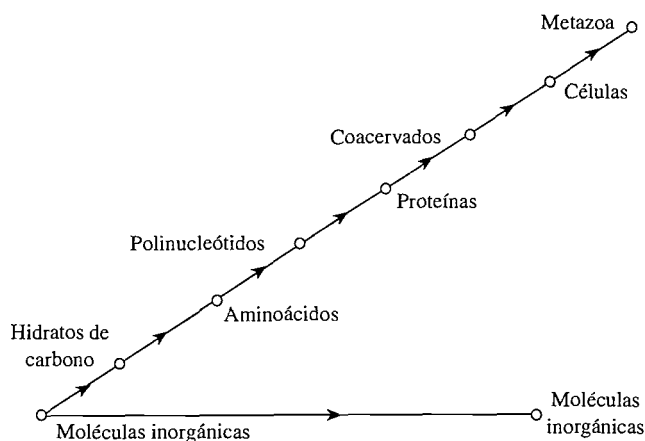


FIGURA 10.11. La teoría biogenética como una secuencia de interpolaciones (tomado con simplificaciones de A. I. Oparin).

ralmente, todo interés a retrodicciones y predicciones acerca de las especies; esos problemas no cobran sentido más que en el marco de teorías evolucionistas. Pero el transformismo no da aún extrapolaciones precisas, ni hacia adelante ni hacia atrás, porque hasta el momento no contiene específicas *leyes de la evolución*, o sea, leyes de la evolución de los géneros, sino simplemente *líneas de evolución* que pueden explicarse llegado el caso por las leyes de la genética y de la ecología. Pero eso es suficiente tanto para sugerir la búsqueda de evidencias de las transformaciones cuanto para permitir interpolaciones retrodictivas de bastante confianza sobre la base del supuesto de que las transiciones entre especies vecinas son casi continuas. Así, dadas dos especies vecinas, *A* y *B*, del mismo género, la teoría de la evolución sugerirá las siguientes hipótesis: h_1 = “*A* descende de *B*”; h_2 = “*B* descende de *A*”, y h_3 = “*A* y *B* descienden de un antepasado común.” En cualquiera de esos casos el transformismo sugiere la existencia de otras variedades *C*; y esta hipótesis existencial guiará la búsqueda o, por lo menos, el reconocimiento de ejemplares de *C* o de sus restos fósiles. La búsqueda no será al azar, sino que se hará sobre la base de una de las hipótesis antes mencionadas. Si *C* es un antepasado común de *A* y *B*, entonces tendrá, con gran probabilidad, más rasgos primitivos que *A* o que *B*. En cambio, si *A* o *B* tienen más caracteres primitivos que *C*, *C* puede ser el eslabón perdido que haya que interpolar entre *A* y *B*. En cualquier caso se usará la generalización “Las formas más avanzadas vienen después de las más primitivas”.

El hecho de que esa generalización tenga excepciones (porque hay involuciones) hace la proyección insegura, pero no acientífica. Mas, sea de ello lo que fuere, puede decirse que la retrodicción biológica es a la vez aplicación de la teoría de la evolución y contras-tación de ella: sólo que es una proyección laxa, no estricta.

También en la historia humana la proyección retrospectiva es principalmente inter-