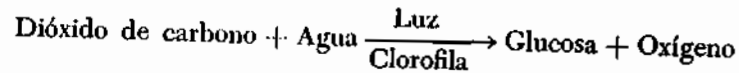


por ejemplo, la fórmula de la síntesis de la glucosa en las hojas de las plantas verdes:



Esa fórmula no dice sino que “bajo la acción de la luz” y “en presencia de clorofila”, ciertas sustancias se transforman en otras sustancias. No se indican los modos de acción de la luz y de la clorofila: todo el asunto se trata como una caja negra sin estructura que, de algún modo misterioso, convierte ciertos factores en ciertos productos. Sólo cuando, con más conocimiento, se estudian los mecanismos fotoquímicos y enzimáticos de la fotosíntesis se rebasa el estadio fenomenológico.

2. Las hipótesis representacionales o “mecanicistas” rebasan los equilibrios factor-producto: especifican mecanismos, los cuales, por lo demás, no tienen que ser necesariamente mecánicos en el sentido estricto del engranaje y la polea. Los conceptos teóricos de las hipótesis representacionales aspiran a denotar propiedades reales: no son simples variables útiles para condensar y computar datos. Por ejemplo, un planteamiento representacional del ferromagnetismo y la ferroelectricidad no se limitará a formular relaciones fenomenológicas entre polarización y temperatura, sino que intentará explicar esas relaciones deduciéndolas de hipótesis representacionales más profundas; en particular, intentará explicar la brusca caída de la polarización que se produce a cierta temperatura crítica como efecto de un cambio discontinuo de la estructura microscópica o semi-microscópica. O tomemos el ejemplo del crecimiento biológico. Podemos reunir y generalizar mediante curvas estudios empíricos del crecimiento de individuos y poblaciones. Como esas curvas se refieren a intervalos temporales limitados, pueden ser recogidas por infinitas funciones que relacionen la dimensión de la entidad biológica con su edad. Cada una de esas funciones será una hipótesis fenomenológica sobre el crecimiento. Si no se dispone de conjetura alguna sobre el mecanismo del crecimiento, no podremos decidir cuál de ese conjunto infinito de hipótesis fenomenológicas es la más verdadera. Puede disminuirse esa incertidumbre mediante supuestos determinados respecto de los procesos de crecimiento —supuestos diferentes para los individuos y para las poblaciones. Por ejemplo, en el caso del crecimiento individual podemos formular la hipótesis de que la expansión de la célula es por lo menos tan importante como su reproducción, mientras que por lo que hace a poblaciones podemos formular la hipótesis de que lo único que cuenta es la reproducción. De este modo se construyen hipótesis representacionales, que son más fuertes. No hay, además, límite que pueda ponerse a su corrección; por ejemplo, puede también tenerse en cuenta la competición con otras entidades. En cualquier caso, mientras que el planteamiento fenomenológico nos daba una infinidad de hipótesis rivales, el planteamiento representacional da de sí

un manojo de hipótesis que concurren a explicar los mismos datos; además, ahora puede aducirse otra clase de evidencia empírica, no directamente referida al crecimiento, sino a otros procesos (por ejemplo, la competencia intraespecífica) en favor o en contra de las hipótesis representacionales.

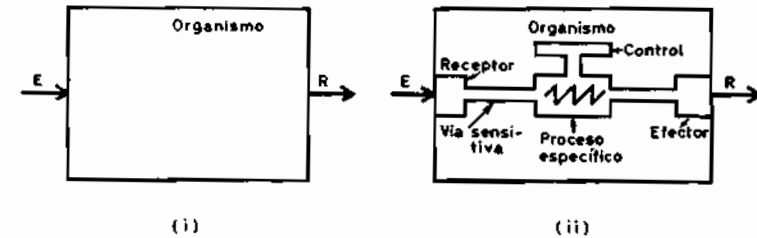


FIG. 5.3. Dos enfoques psicológicos. (i) Enfoque fenomenológico (de la caja negra): relaciones funcionales $R = F(E)$ entre los estímulos E y las respuestas R . (ii) Enfoque representacional (de la caja traspájida): un sistema de conjeturas (una teoría) que considera el mecanismo responsable del comportamiento visible, explicando así la hipótesis fenomenológica $R = F(E)$.

Algunas escuelas filosóficas, especialmente el positivismo y el convencionalismo, rehúyen las hipótesis representacionales por el hecho de que éstas rebasan con mucho la condensación de los datos; esas escuelas toleran el uso de conceptos no-observacionales siempre que se consideren como intermediarios simbólicos (variables intervinientes) entre conceptos observacionales, y no como representativos de rasgos reales, aunque no observables. La decisión entre esta línea de conducta y la que consiste en animar incluso a la introducción de construcciones hipotéticas con sólo que sean escrutables es una cuestión filosófica, pero no debe tomarse en beneficio de una determinada escuela filosófica, pues eso sería fatal para la ciencia. Así, por ejemplo, la decisión de considerar el concepto de “impulso” o tendencia como una construcción hipotética más bien que como una variable interviniente tiene que basarse en el descubrimiento de que todo impulso estudiado hasta ahora tiene un correlato neurológico. Lo mismo puede decirse de todas las leyes de la psicología del comportamiento: puesto que sabemos que en el organismo vertebrado hay un proceso de excitación del sistema nervioso central que media entre todo estímulo y su respuesta, nos vemos movidos a formular la hipótesis de que toda hipótesis fenomenológica (conductística) sobre el comportamiento cuenta con un conjunto subyacente de leyes neurofisiológicas (cfr. figura 5.3).

La negativa a investigar este supuesto aísla a la psicología de la biología, le priva de evidencia de un tipo nuevo (neurofisiológica) y de una fundamentación capaz de explicar lo superior a base de lo inferior. Dicho de otro modo: la disputa en torno a los conceptos de variable interviniente y construcción hipotética es una discusión metacientífica, pero tiene

que resolverse en interés del progreso de la ciencia, y no apelando a dogmas filosóficos. Y el progreso científico ha consistido en gran medida en formular hipótesis —a veces confirmadas— sobre la existencia de cosas y propiedades imperceptibles, y de mecanismos que explican lo que puede percibirse. Las hipótesis representacionales, que admiten órganos y funciones además del comportamiento, son *más profundas* que las correspondientes hipótesis fenomenológicas, en el sentido de que alcanzan niveles de realidad más profundos. Al mismo tiempo, esas hipótesis son lógicamente *más fuertes*, puesto que implican las hipótesis fenomenológicas; y son *mejor contrastables*, porque son sensibles a más pequeños detalles y a una experiencia más varia. Por eso el oponerse a ellas es oponerse a la maduración de la ciencia.

Pero es ya hora de estudiar el fundamento de las hipótesis.

PROBLEMAS

5.4.1. Ilustrar las siguientes clases de hipótesis científicas: hipótesis halladas por analogía, por inducción, por intuición, por deducción; hipótesis construidas.

5.4.2. Examinar la opinión de H. Poincaré, según la cual ciertas hipótesis científicas son *naturales*, en el sentido de que no podemos eliminarlas. Entre ellas citaba (i) la contigüidad (acción por contacto), (ii) la continuidad de la relación causal y (iii) la linealidad (superponibilidad) de los pequeños movimientos. Cfr. su *La Science et l'Hypothèse*, chap. IX. *Problema en lugar de ése*: Elaborar la distinción, esbozada en el texto, entre inducción no-empírica e inducción empírica.

5.4.3. Comentar el siguiente caso de invención de hipótesis. J. Dalton inventó la ley de las presiones parciales: "La presión de cada constituyente de una mezcla gaseosa es independiente de las presiones de los demás componentes". Dalton halló esta ley basándose en un supuesto falso, como expone T. G. COWLING en *Molecules in Motion*, 1950, New York, Harper and Brothers, 1964, pág. 34: "Dalton, creyendo que las presiones de un gas se deben a la repulsión recíproca de sus moléculas, entendió esa ley en el sentido de que una molécula sólo es repelida por otras iguales. En consecuencia, declaró, ninguna presión atmosférica, por fuerte que sea, puede detener la evaporación del agua si el aire está perfectamente seco; pero la evaporación se detiene sin más en cuanto que el aire contiene la cantidad adecuada de agua, porque las moléculas de vapor repelen hacia abajo todas las moléculas que en otro caso se separarían del agua. Dalton tiene toda la razón al decir que la evaporación no puede detenerse más que por la presencia de suficiente vapor de agua en el aire; Dalton tenía el don, común a todos los hombres realmente grandes, de llegar por lo común a conclusiones correctas aun llevado por argumentaciones deficientes". Considerar el arranque de la ley, su profundidad y la profundidad de sus hipótesis subyacentes. *Problema en lugar del anterior*: Estudiar el modo cómo C. Darwin derivó su hipótesis de la tasa geométrica del aumento de la población partiendo de la teoría malthusiana de la población. *Problema en lugar del anterior*: Examinar la inferencia por Goethe de su hipótesis evolu-

cionista a partir de la idea de que todo ser vivo es copia de un tipo ideal (arquetipo).

5.4.4. Formular una hipótesis observacional y otra no-observacional y llevar a cabo un análisis epistemológico de ambas. *Problema en lugar de ése*: Formular varias hipótesis para explicar algún hecho reciente de la propia experiencia; clasificarlas.

5.4.5. Indicar si las siguientes hipótesis son observacionales o no-observacionales. Hay que prestar atención a las diferencias entre propiedades efectivamente observadas y propiedades observables (entre las cuales se incluyen las que pudieron haber sido observadas, pero no lo fueron). (i) "Los vikingos llegaron a Norteamérica durante la Edad Media". (ii) Todo cuerpo persiste en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que se vea obligado a cambiar ese estado por fuerzas que se le impriman" (primera ley newtoniana del movimiento). (iii) "El 90 % de los pacientes neuróticos han mejorado mucho, o se han curado, al cabo de cinco años, se les haya tratado o no". *Problema en lugar de ése*: Informar y comentar a propósito de "The Black Box" (La caja negra), chap. 6 de la obra de W. R. ASHBY *An Introduction to Cybernetics*, 1956, New York, John Wiley, 1963.

5.4.6. Las supersticiones nacen frecuentemente de uno de los siguientes modos: (i) se observa una coincidencia casual entre A y B unas cuantas veces, o incluso sólo una vez, y se forja la conjetura de que todos los A son B, o a la inversa; (ii) se inventa una conjetura para dar razón de algún hecho, y se acepta porque no hay ninguna otra a mano o porque concuerda con el cuerpo de creencias dominante. ¿Proceden de ese modo los científicos? *Problema en lugar de ése*: Según Hume y sus seguidores, toda hipótesis (i) se produce por inducción, por mucho que rebase las evidencias disponibles para ésta, y (ii) se sostiene por la costumbre. Examinar esta doctrina en la versión dada por N. GOODMAN, *Fact, Fiction and Forecast*, London, Athlone Press, 1954, en la cual el hábito psicológico se sustituye por un "atrincheramiento" en el lenguaje de los predicados "que habitualmente hemos proyectado", o sea, a propósito de los cuales hemos hecho previsiones.

5.4.7. W. Gilbert (1600) explicaba la orientación, bastante fija, de la brújula suponiendo (h_1) que nuestro planeta es un gran imán en interacción con la aguja. Y para explicar el campo magnético terrestre formuló la hipótesis de que hay materiales magnéticos subterráneos (h_2) y corrientes eléctricas por debajo de la superficie (h_3). Analizar esta situación y determinar si el seguir preguntando no puede llevar a una regresión al infinito. *Problema en lugar de ése*: Examinar la difundida creencia según la cual Kepler consiguió sus leyes contemplando las tablas de Tycho Brahe, y Newton su ley gravitatoria partiendo exclusivamente de las leyes de Kepler. Si el lector cree esas historias, que se aplique él mismo la receta para sus estudios.

5.4.8. Los experimentos han enseñado que la movilidad de los electrones en el seno de semiconductores (como el germanio que se utiliza en los transistores) es bastante independiente del campo eléctrico que se les aplique (h_1). La primera hipótesis propuesta para explicar esa generalización fue que los electrones encuentran una resistencia que se contrapone al campo externo (h_2). ¿Qué es lo que puede haber sugerido h_2 ? ¿Era h_2 fenomenológica o represen-

tacional? El paso siguiente consistió en explicar h_2 . Se supuso primero que la resistencia se debía a las colisiones de los electrones con los átomos (h_3), pero esta hipótesis tenía consecuencias contrastables que resultaron falsas. La hipótesis aceptada en el momento de escribir estas páginas es que lo que se opone al impulso de los electrones son las ondas elásticas (sonoras) producidas por el movimiento térmico de los átomos (h_4). Analizar esta situación. *Problema en lugar de éste*: ¿Cuáles son las diferencias entre la medicina que se limita a describir y correlatar síntomas y la medicina que, según C. Bernard, intenta descubrir "la filiation physiologique des phénomènes"?

5.4.9. ¿Se obtienen las hipótesis a partir de algo o son inventadas? (Aspecto psicológico) ¿Son inferidas o puestas? (Aspecto lógico). Indicaciones: (i) considerar si la experiencia puede suministrar, o sugerir al menos, proposiciones referentes a hechos no experimentados; (ii) considerar el "hecho" de que sólo las personas problemáticamente orientadas, de carácter inquisitivo, quedan sin satisfacer por lo que reciben de los sentidos; (iii) hojear W. WHEWELL, *Novum Organum Renovatum*, 3rd. ed., London, 1858, págs. 64 ss. *Problema en lugar de éste*: Según el inductivismo, las hipótesis científicas se consiguen mediante inferencia a partir de los datos. Si tal es el caso, ¿cómo puede ser que, por definición, las hipótesis rebasen los datos?

5.4.10. La intensidad percibida, ψ , de un estímulo físico que tiene la intensidad S se nos da por la ley psicofísica de S. S. Steven:

$$\psi = k \cdot S^p,$$

en la cual el valor preciso de p es característico para cada clase de estímulo y se encuentra entre 0,3 y 3,5. Esta ley fenomenológica ha sido confirmada para más de doce clases de percepción (brillo, longitud aparente, duración, peso, velocidad, etc.). Las constantes k y p que aparecen en esa ley son puramente numéricas: no tienen interpretación psicológica, por no hablar ya de interpretación fisiológica. Examinar la validez de la "ley" de Stevens (reproducida en casi todos los manuales de psicología) en vista de que no hace lugar a la inhibición ni al estado interno del animal. *Problema en lugar de éste*: La historia social y la historia económica estudian los mecanismos responsables de ciertas regularidades históricas. Estudiar esto como un caso de interpretación de hipótesis fenomenológicas por medio de hipótesis representacionales.

5.5. Fundamento

Las hipótesis científicas, cuando son verdaderas, resultan ser afortunadas penetraciones mentales, pero no nacen por generación espontánea ni se aceptan sin más por el hecho de ser afortunadas, o sea, de recoger los hechos. Las hipótesis científicas están todas más o menos basadas o fundamentadas en conocimiento previo, o sea, que se proponen, se investigan y se sostienen sobre la base de determinados fundamentos que no son sólo los datos que recogen. El hecho de que esos fundamentos no se con-

sideren nunca definitivos, sino que muchas veces tengan que sustituirse, es una evidencia más en favor de la tesis de que siempre se busca el mejor fundamento para una hipótesis científica. La tarea de fundamentar las hipótesis científicas en bases distintas de la evidencia empírica puede entenderse como su justificación teórica (o convalidación teórica). La justificación de esa denominación consiste en que la mejor fundamentación de una hipótesis es su inserción en una teoría, o sea, en un sistema de hipótesis que se apoyan y controlan mutuamente. (El considerar la relación de fundamentación como una relación de orden estrictamente lineal nos llevaría a una regresión al infinito.)

Además, las hipótesis científicas no merecen que se las someta a la contrastación con la experiencia más que si existe alguna razón para sospechar que pueden superar esa prueba; o sea, que tienen antes que aparecer como conjeturas razonables, y no simples ocurrencias arbitrarias. Por regla general, no se desperdicia esfuerzo alguno a propósito de ocurrencias de este último tipo; así, por ejemplo, no suelen financiarse investigaciones sobre conjeturas injustificadas, aunque sean contrastables. Una hipótesis puede ser completamente nueva y excéntrica, pero tiene que respetar de algún modo el cuerpo capital del conocimiento y la tradición de la ciencia, no tanto en cuanto a la letra (resultados) como en cuanto a lo que se llama el espíritu de la ciencia (sus métodos, sus fines y sus grandes ideas). O sea: el material en bruto al que hay que aplicar el método de la ciencia, las ideas sin elaborar o a medio elaborar que hay que estudiar, tienen que concebirse según el espíritu de la ciencia. Dicho de otra manera: el valor veritativo previo de la hipótesis, su valor veritativo respecto del conocimiento previo, tiene que ser distinto de la falsedad. (Simbólicamente: $V(h/P) > -1$.) Pero incluso la hipótesis mejor fundada debe proponerse con una sonrisa, como gusta de decir Szent-Györgyi.

Lo entendido por espíritu de la ciencia depende del estado del conocimiento y hasta de la moda científica: después de todo, no es sino una parte o parcela de lo que suele llamarse el espíritu de la época (*Zeitgeist*), o sea, del conjunto de ideas y normas básicas que modelan ya nuestra selección y nuestro planteamiento de problemas (cfr. Secc. 4.3). Este concepto de clima intelectual es un concepto mal determinado, pero una vez liberado de resonancias espiritualistas, resulta ser útil para comprender la gestación y la recepción de las hipótesis científicas: nos ayuda a entender, por ejemplo, por qué tantas ideas que hoy día parecen obvias no se "vieron" así en otros tiempos, y por qué se tomaron en cambio como obvias en el pasado tantas ideas falsas. Las hipótesis, científicas o no, no nacen nunca en un vacío, ni se estiman nunca aisladas de la herencia intelectual general propia de la atmósfera intelectual de un ambiente o de un período. Digámoslo de un modo ligeramente distinto: la invención, la investigación, la aceptación y la recusación de hipótesis no son más que un aspecto de la creación de cultura. Consiguientemente, el no prestar atención más que

a su forma lógica y a su apoyo empírico es revelar una visión muy miopía de la cultura. Un par de ejemplos pueden ilustrar este punto.

En 1630 J. Rey, un oscuro físico francés, publicó una obra en la que presentaba dos hipótesis originadas por sus propios experimentos, así como una regla de método que había empleado en ellos. Las hipótesis eran que el peso de los metales aumenta al calentarlos (a causa de la "absorción de aire"), y que en toda transformación de esa clase se conserva el peso. La regla de método decía que en todas las reacciones químicas hay que controlar por medio de la balanza los pesos de los cuerpos. El eficaz Mersenne comentó el libro en 1634, y la obra se reimprimió en 1777, pero las ideas de Rey no consiguieron predicamento. A. L. Lavoisier las volvió a inventar y las refinó entre 1772 y 1789; por lo demás, las aportaciones de Rey que hemos resumido son precisamente el núcleo de la revolución científica provocada por Lavoisier. ¿Por qué no ha sido históricamente Rey un precursor de Lavoisier? ¿Por qué no ha desempeñado ningún papel en el desarrollo de la química? Sus ideas se despreciaron porque no armonizaban con la doctrina química dominante en su época, y porque ésta se consideraba entonces satisfactoria. Efectivamente, incluso el simple uso de escalas era en aquella época cosa exclusiva del físico; la conservación del peso no podía atraer a personas presas en la creencia aristotélica en que el peso no es una propiedad primaria, sino accidental; y el aumento de peso del metal durante la calcinación (explicado por Rey como una absorción de aire) no podía convencer a personas que creían que cierta tierra o "cal" (lo que llamamos un óxido) es más elemental y, por tanto, más simple, que un metal. En resolución: Rey no consiguió dar a sus ideas y procedimientos una fundamentación aceptable para sus contemporáneos (se encontrarán más detalles de esta historia en la Secc. 14.1).

Nuestro segundo ejemplo se refiere a I. Semmelweis, el físico vienés que explicó en 1847 la mortal fiebre puerperal como una consecuencia del transporte involuntario, por comadronas y médicos, de "material cadavérico" manejado en la sala de disección. Propuso consiguientemente que todo el personal de la maternidad se lavara y desinfectara las manos antes de pasar de una sala a otra. Esto bastó para reducir la mortalidad de un 12% a un 1%, lo cual dio un robusto apoyo empírico a la hipótesis de Semmelweis. Pues bien: no se le creyó, se le combatió y se le llevó finalmente a la locura. Ahora nos es muy fácil condenar a sus críticos contemporáneos, incluyendo entre ellos al gran patólogo R. Virchow; pero la actitud de éstos, aunque dogmáticos, no era infundada. La hipótesis de Semmelweis entraba en conflicto con la teoría patológica dominante, según la cual la enfermedad se desarrolla y reside en nuestros cuerpos (teoría de los factores endógenos). Esta teoría había sido de una fecundidad enorme, porque había orientado a los médicos al estudio del cuerpo humano, en vez de permitirles contentarse con aludir a vagos factores exógenos, como los demonios, los miasmas y los gérmenes. La teoría de los

gérmenes, que había explicado la malaria en la Antigüedad y la tuberculosis y la peste en los siglos XVII y XVIII, había quedado desacreditada por buenas razones: en primer lugar, no había sido corroborada independientemente, pues no se habían identificado ni aislado los gérmenes que suponía; en segundo lugar, aconsejaba la resignación ante lo inevitable, más que la investigación y la lucha, mientras que la semifalsa teoría del origen citológico de la enfermedad había dado un impulso poderoso a la citología y a la patología. Además, Semmelweis no había ofrecido explicación alguna del mecanismo contagioso: para esto hubo que esperar hasta Pasteur y su escuela, que mostraron que los microbios pueden reproducirse a enormes velocidades. En resolución: la hipótesis de Semmelweis carecía de justificación teórica y contradecía una teoría aceptada y fecunda: era sólo una feliz ocurrencia que no se aceptó hasta que quedó inserta en la teoría de los gérmenes patógenos.

Los casos de Rey, Semmelweis y otros innumerables precursores ignorados nos enseñan varias moralejas. En primer lugar, que la exigencia de fundamentación o convalidación teórica tiene *dos caras*: por un lado nos protege contra las ideas extravagantes; por otro lado, si se exagera, puede agostar cualquier número de verdades y, en particular, puede retrasar o hasta impedir cambios revolucionarios en la ciencia. En segundo lugar, la exigencia de concordancia con los hechos (convalidación empírica) es también de *dos caras*: por un lado es una condición necesaria de la verdad y una protección contra la especulación; por otro lado, puede consagrar hipótesis infundadas y resueltamente falsas (por ejemplo, correlaciones meramente casuales, pero de larga duración) y en muchas mentalidades puede anular el deseo de convalidación teórica. La exigencia de fundamentación y la de contrastación empírica, si se cumplen independientemente la una de la otra, tienen que manejarse con cuidado para evitar la recusación dogmática de la verdad y la aceptación dogmática del error. El camino óptimo consiste en elaborar simultáneamente la convalidación teórica y la empírica.

Rara vez —si es que ocurre alguna— tenemos directamente la ocurrencia de hipótesis plenamente fundadas y convalidadas y, además, interesantes; generalmente procedemos por ensayo y error, guiados por intuiciones más o menos oscuras; y frecuentemente partimos de ocurrencias sin fundar y sin contrastar. Podemos, en efecto, distinguir los siguientes niveles en la operación de conjeturar: ocurrencias, hipótesis empíricas, hipótesis plausibles, hipótesis convalidadas.

1. *Ocurrencias*: son hipótesis sin fundar ni contrastar. Son sin duda sugeridas oscuramente por conocimiento anterior y por nueva experiencia, pero no quedan suficientemente justificadas por todo ello: siguen colgadas en el aire. (Cfr. Fig. 5.4.(f).) El predominio de ocurrencias caracteriza la especulación, la pseudociencia y los estadios primitivos del trabajo teórico.

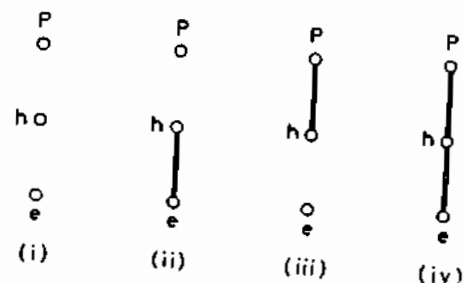


FIG. 5.4. Cuatro niveles de convalidación: el conocimiento previo, P , y la nueva experiencia, e , pueden combinarse para dar (i) ocurrencias, (ii) hipótesis empíricas, (iii) hipótesis plausibles o (iv) hipótesis convalidadas.

2. **Hipótesis empíricas:** son conjeturas sin fundamentar, pero empíricamente convalidadas. Una hipótesis empírica es una conjetura aislada sin más apoyo que el ambiguo ofrecido por los hechos que recoge: carece de convalidación teórica (cfr. Fig. 5.4. (ii)). Pertenecen a este nivel las correlaciones empíricamente registradas en medicina, las reglas pragmáticas de la meteorología sinóptica, y las reglas de este tipo que se observan en la metalurgia y en la agricultura. Cuando en un campo dominan hipótesis empíricas, podemos hablar de conocimiento empírico propiamente dicho.

3. **Hipótesis plausibles:** son hipótesis fundamentadas, pero sin contrastar. La hipótesis plausible es una conjetura razonable que no ha pasado la prueba de la experiencia, pero que, en cambio, puede sugerir las observaciones o los experimentos que servirían para someterla a contrastación: carece de justificación empírica, pero es contrastable (cfr. Fig. 5.4 (iii)). La conjetura de J. C. Maxwell sobre la existencia de ondas electromagnéticas fue hipótesis plausible que inauguró todo un nuevo campo de investigaciones.

4. **Hipótesis convalidadas:** son hipótesis bien fundadas y empíricamente confirmadas. (Cfr. Fig. 5.4 (iv).) El predominio de hipótesis de este nivel caracteriza el conocimiento teórico y es la señal de la ciencia madura. Si una hipótesis convalidada es, además, general y sistémica, la honramos con el título de ley; y si su estatuto lógico en un sistema es el de un supuesto inicial (axioma), la llamamos principio. Pero si notamos seriamente que ninguna nueva experiencia ni ningún razonamiento nuevo podrá nunca afectar a nuestra hipótesis convalidada, la clasificamos entre las verdades de la lógica... o fundamos una nueva religión.

La historia de la ciencia es en gran medida una secuencia de transiciones entre esas clases de hipótesis —y no sólo hacia adelante, de las ocurrencias a las hipótesis convalidadas, sino también hacia atrás, de verdades "definitivas" a especulaciones sin fundamento. La conversión de una hipótesis parcialmente sustanciada en una hipótesis convalidada tiene una hermosa ilustración: el descubrimiento del planeta Neptuno. El problema inicial no consistía en contemplar el cielo en búsqueda de un nuevo objeto, sino en explicar la "anomalía" que presenta el movimiento

aparente de Urano. Esa "anomalía" era simplemente una discrepancia entre los valores observados y los valores calculados de las posiciones de ese planeta. Puesto que los valores calculados eran ligeramente erróneos, las hipótesis empleadas en el cálculo tenían que tener algún defecto. Estas hipótesis eran principalmente las siguientes: el sistema solar es un objeto en lo esencial auto-determinado, a causa de la gran distancia que lo separa de los demás cuerpos celestes (h_1); Urano es el planeta más externo, por tanto, sólo el Sol y los demás planetas influyen en su movimiento (h_2); las leyes newtonianas del movimiento (h_3 , una conjunción de hipótesis); y la ley gravitatoria de Newton (h_4). El problema de explicar la "anomalía" del movimiento de Urano consistía en descubrir el componente falso de la conjunción $h_1 \& h_2 \& h_3 \& h_4$. Debido al gran éxito de las hipótesis generales h_3 y h_4 dentro y fuera del sistema solar, se hacían sospechosas las hipótesis h_1 y h_2 , más específicas; de esas dos, h_1 no podía ser culpable en este caso: en efecto, si la "anomalía" se debiera a una influencia procedente de fuera del sistema solar, ¿por qué iba a presentarla sólo Urano entre todos los planetas? F. W. Bessel conjeturó que h_2 podía ser falsa, y propuso, aunque sin elaborarla, su negación — h_2 , o sea, "Urano no es el planeta más externo", o su equivalente "Hay al menos un planeta más allá de Urano". No se trataba de una conjetura infundada, pues el descubrimiento de Urano mismo había sido precedido por la conjetura de la existencia de una "estrella errante"; además, h_2 no tenía más apoyo que la débil evidencia de observación. Dicho brevemente: — h_2 era una hipótesis plausible sin contrastar.

Algún tiempo después, J. C. Adams (1843) y U. J. Le Verrier (1846) elaboraron (teóricamente), con independencia el uno del otro, la hipótesis plausible — h_2 , para lo cual tuvieron que introducir varias hipótesis auxiliares, la principal de las cuales era que el nuevo planeta se movía en el plano de la eclíptica. Su problema consistía pues en hallar la órbita, la velocidad y la masa del nuevo planeta hipotético, de tal modo que el haz de hipótesis diera razón del movimiento "observado" de Urano. La única "evidencia" era en este caso la discrepancia entre los datos de observación y las predicciones hechas sobre la base de h_2 : los datos mismos no imponían hipótesis alguna. Los cálculos hechos sobre la base de — h_2 y con la ayuda de la teoría matemática de las perturbaciones incluía una consecuencia contrastable, a saber, la dirección precisa en la cual habría que apuntar un telescopio una noche determinada para ver el hipotético planeta. Se eligió la noche del 23 al 24 de septiembre de 1846; el astrónomo J. Galle observó el lugar previsto y vio el nuevo planeta, al que se dio el nombre de Neptuno; pero cualquier otro astrónomo habría podido conseguir la misma confirmación de la predicción teórica. Con esto la hipótesis plausible — h_2 , de débil fundamento y sin contrastar, pasó aquella noche a la categoría más alta: se convirtió en una hipótesis convalidada. Después se hallaron también anomalías en la órbita de Neptuno, se forjó la hipótesis

de otro planeta más, Plutón, y por último se descubrió este planeta (1930). Pero en el momento de escribir estas páginas se discute seriamente la existencia de Plutón.

Obsérvese la naturaleza de la argumentación en los tres casos (Urano, Neptuno y Plutón). La argumentación no parte de observaciones positivas, sino de una discrepancia entre las previsiones teóricas y los datos, discrepancia que sugiere que hay algún error al menos en uno de los supuestos (Si $P \vdash t$ y si la experiencia falsa t , entonces inferimos $\neg P$. Pero la lógica sola no nos dice qué miembro del conjunto de supuestos P es el falso). Se examina críticamente el registro de datos de cada supuesto hasta descubrir el más probable causante y sustituirlo finalmente por una nueva hipótesis plausible. (Las ocurrencias arbitrarias, como la de que las anomalías son caprichos del planeta, o efectos psicocinéticos de un poderoso mago, no se toman siquiera en consideración.) Se consiguen consecuencias contrastables de la nueva hipótesis mediante los medios disponibles, y, si es necesario, mediante conjeturas y técnicas adicionales. Por último, se lleva a cabo un conjunto de observaciones para conseguir la contrastación. El conjunto del procedimiento es *hipotético-deductivo*, y ya la misma *búsqueda de más evidencia está sugerida por la hipótesis* misma, no al revés.

Escribamos, por último, unas pocas palabras cautas por lo que hace al concepto de *hipótesis rivales*, que se presenta en toda situación en la cual se trate de hipótesis. En primer lugar, las hipótesis rivales son recíprocamente *incompatibles*, no pueden afirmarse conjuntamente; pero 'incompatibilidad' no significa 'contradictoria'. En particular, si las hipótesis contienen conceptos cuantitativos, queda asegurada la posibilidad de una infinidad de hipótesis incompatibles y no contradictorias. Piénsese en el conjunto infinito de hipótesis supuesto por la fórmula " $y = x^n$ ", siendo el campo de n el conjunto de los enteros: " $y = x$ ", " $y = x^2$ ", " $y = x^3$ ", etc. 'Contradictorias' no se aplica más que a partes de fórmulas tales que una sea la negación lógica de la otra. Así, por ejemplo, la contradictoria de " $y = x^n$ " es " $y \neq x^n$ ", y la contradictoria de "Todo A es B" es "No todo A es B", no "Ningún A es B" (o "Todo lo que es un A no es un B"), ni "Algunos A son B". Moraleja: no hay que derrochar la palabra 'contradictorio'.

En segundo lugar, hay y habrá siempre cierto número de hipótesis rivales para dar razón de un mismo conjunto de datos: pero no estarán todas necesariamente igual de autorizadas en su pretensión de verdad. Así, por ejemplo, si una hipótesis h da razón de la evidencia e , las hipótesis $h \& p$ y $h \& \neg p$, que son mutuamente incompatibles y en las cuales ' p ' designa un supuesto cualquiera, recogerán también esa misma evidencia, puesto que ambas implican h , la cual a su vez implica e . Pero si no hay razón alguna para aceptar p en vez de $\neg p$, o al revés, entonces lo mejor que podemos hacer es olvidarnos de p : y no añadiremos p o $\neg p$ al cuadro

más que si éstas pueden someterse a una contrastación *independiente*, o sea, si p (o $\neg p$) implica nuevas consecuencias contrastables no implicadas por h sola. En general, salvo que sean todas infundadas, las hipótesis rivales que se disputan un área fáctica no estarán *igualmente* fundadas e *igualmente* contrastadas, por lo que no serán igualmente verosímiles.

Pero el tema de la contrastabilidad merece una sección propia.

PROBLEMAS

5.5.1. ¿Qué razones tenía Colón para suponer que encontraría tierra firme navegando hacia el Oeste? ¿Concordaba su conjetura con la opinión dominante? ¿Había recibido ayuda financiera si no hubiera presentado ningún argumento en favor de su hipótesis? *Problema en lugar de ése*: Examinar las razones de Copérnico en favor de la hipótesis heliocéntrica.

5.5.2 Examinar el dibujo aparecido en *The New Yorker* el 20 de octubre de 1962, en la pág. 53. Ese dibujo ilustra la hipótesis de que las construcciones megalíticas (como las de Stonehenge o Carnac) pueden haber sido obra de un gigante que jugaba con guijarros. ¿Es esto una alternativa digna de consideración frente a la hipótesis hoy aceptada? Considérese si existe evidencia independiente en favor de ella, como serían huesos de gigante hallados cerca de esos megalitos; tener en cuenta que la hipótesis corriente está independientemente basada en evidencia relativa, por ejemplo, al transporte y el uso de dichas piedras. *Problema en lugar de ése*: ¿Puede un biólogo creer en la inmortalidad del hombre? Cualquiera que sea la respuesta, ¿se basará sólo en información empírica?

5.5.3. ¿Cuáles son las razones —si existen— para admitir las siguientes hipótesis? (i) Que todas las estrellas son esféricas o aproximadamente esféricas; (ii) que hay otras mentes además de la nuestra propia; (iii) que hay organismos extraterrestres.

5.5.4. Los especialistas en educación suelen afirmar que lo que determina esencialmente una buena enseñanza es el dominio de las técnicas didácticas (h_1); ésta es, al menos, la justificación teórica de la existencia de escuelas de pedagogía. En cambio, los profesores de ciencias tienden a creer que lo que determina esencialmente una buena enseñanza, por lo menos la de la ciencia, es una clara comprensión del tema y afición al mismo, así como el interés por los alumnos (h_2). Discutir las justificaciones teóricas y empíricas —si las tienen— de esas hipótesis rivales. Y, si es posible, proceder en consecuencia. *Problema en lugar de ése*: La hipótesis de la continuidad del movimiento, que es un supuesto de la mecánica, resulta empíricamente incontrastable de modo directo. ¿Por qué se mantiene? Indicación: Imagínese lo que nos impondría la tesis de la discontinuidad.

5.5.5. Para explicar la precesión del perihelio de Mercurio, que no quedaba explicada por la astronomía newtoniana, Le Verrier formuló la hipótesis de la existencia de un nuevo planeta, Vulcano, al que supuso inobservable desde la Tierra por encontrarse constantemente oculto por el Sol. ¿Qué le sugirió

la invención de esa hipótesis? ¿Era esta hipótesis contrastable antes del desarrollo de la astronáutica? ¿Cómo se ha resuelto finalmente el problema?

5.5.6. Las siguientes hipótesis estaban lejos de poseer una buena fundamentación cuando fueron propuestas por vez primera: (i) que la materia está íntimamente constituida por átomos invisibles (los atomistas griegos); (ii) que más de una estrella tiene que ser sol de un sistema planetario (G. Bruno, a fines del siglo xvi); (iii) que los enlaces químicos son básicamente eléctricos (J. Davy, 1807); (iv) que el hidrógeno es el elemento básico de todos los elementos químicos (J. Prout, 1815); (v) que el cerebro es una especie de pila eléctrica (J. Herschel, 1830). ¿Eran completamente inútiles? *Problema en lugar de ése*: ¿Resulta verdadera toda hipótesis plausible (bien fundada)? ¿Y es plausible toda hipótesis verdadera?

5.5.7. Clasificar las hipótesis supuestas en el siguiente resumen de recientes estudios sobre el hambre. En primer lugar, se ha hallado en el hombre una correlación sistemática entre la obesidad y ciertas lesiones del hipotálamo. Luego se hicieron experimentos con animales y quedó confirmada la correlación. Ésta se explica suponiendo que las lesiones eliminan ciertas inhibiciones. La hipótesis queda luego refutada experimentalmente, al observar que ratones que sufren dichas lesiones presionan la palanca que les suministra el alimento menos rápidamente que otros ratones normales. Por último, se intenta la hipótesis —convalidada en el momento de escribir esto— de que ciertas sustancias químicas, implantadas en determinados lugares del cerebro, estimulan el apetito.

5.5.8. Examinar las siguientes normas metacientíficas: (i) Las hipótesis científicas tienen que fundarse en principios de razón a priori (racionalismo tradicional). (ii) Las hipótesis científicas tienen que basarse exclusivamente en datos empíricos (empirismo tradicional).

5.5.9. Examinar la tesis según la cual las hipótesis científicas son injustificadas e injustificables, y la única razón para sostenerlas (temporalmente) es que superen severas contrastaciones empíricas; pero los intentos de justificarlas llevan a círculos viciosos o a una regresión al infinito. Cfr. K. R. POPPER, *The Logic of Scientific Discovery*, 1935, London, Hutchinson, New York. Basic Books, 1959, Chap. X. *Problema en lugar de ése*: Estudiar ese planteamiento, que niega la justificabilidad, en el contexto de la filosofía; siguiendo la sugerencia de Popper lo elabora W. W. BARTLEY III en "Rationality versus the Theory of Rationality", en M. BUNGE, ed., *The Critical Approach*, New York, The Free Press, 1964.

5.5.10. Examinar la situación siguiente, presentada por N. GOODMAN en *Fact, Fiction and Forecast*, London, Athlone Press, 1954, chap. III:

e = Todas las esmeraldas conocidas son verdes.

h_1 = Todas las esmeraldas son y serán siempre verdes.

h_2 = Todas las esmeraldas serán verdes hasta el año 2000, y entonces se volverán azules. (Abreviaremos: "todas las esmeraldas son G".)

Es claro que h_1 y h_2 son incompatibles: pero, sin embargo, tienen la misma justificación empírica, el mismo apoyo inductivo. R. Carnap intentó hacer frente a esta dificultad estipulando que los predicados no-temporales deben preferirse a los temporales. Cuestiones: (i) ¿Es la anterior situación poco frecuente en

la ciencia, o ejemplifica, por el contrario, la tesis metacientífica de que ningún conjunto de datos apunta inequívocamente a una hipótesis determinada? (ii) ¿A cuál de los cuatro niveles discentidos en el texto (v. fig. 4) pertenece h_2 ? (iii) ¿Qué base puede tener la estipulación de Carnap? (iv) ¿Cómo reaccionaría un científico ante h_2 , o sea, ante la ocurrencia de "G" (verde antes del año 2000 y azul después)? (v) ¿Se inventan *ad libitum* los predicados en la ciencia? (vi) ¿Es legítimo eliminar los predicados que producen dificultades a los filósofos? *Problema en lugar de ése*: Discutir y ejemplificar (i) las "razones" efectivas para proponer una hipótesis, (ii) las razones plausibles o buenas (fundamentos) que hay para formular la hipótesis antes de elaborarla y contrastarla, y (iii) las razones "buenas" y efectivas invocadas para aceptar o rechazar la hipótesis una vez contrastada.

5.6. Contrastabilidad

Son incontrastables las fórmulas que no pueden someterse a contrastación y a las cuales, por tanto, no es posible atribuir un valor veritativo. Pero si no pueden estimarse, es que no tienen valor veritativo: no son ni verdaderas ni falsas. Dicho de otro modo: los valores veritativos no son inherentes a las fórmulas, sino que se les atribuyen mediante metaenunciados como " p es factualmente verdadera". Y no pueden hacerse atribuciones de verdad factual más que en base a contrastaciones empíricas. No conocemos, efectivamente, ningún otro método sino la experiencia para establecer por contrastación la verdad factual. Así pues, la contrastabilidad empírica es un medio para averiguar valores veritativos factuales, y no para obtener la verdad, pues las contrastaciones no dictan hipótesis, sino que los hechos proceden más bien a la inversa; además, una contrastación puede ser desfavorable o no concluyente. Un repaso de los expedientes que pueden usarse para eludir la contrastación empírica puede iluminar el concepto de contrastabilidad, el cual es a la vez enredado y central para la metodología de la ciencia.

El mejor procedimiento para eludir la contrastación empírica consiste en abstenerse de formular hipótesis, contentándose con contemplar nuestras preciosas experiencias privadas, sin intentar ni entenderlas, ni siquiera obrar, puesto que la explicación y la acción racional exigen hipótesis. Dificilmente nos equivocaremos si limitamos nuestro lenguaje a frases como "Tengo en este momento una sensación de dureza". Aún más: difícilmente sentiremos la necesidad de contrastar tales enunciados egocéntricos mediante otros enunciados de la misma clase, pues lo que necesita contrastación es el incierto salto más allá de la experiencia inmediata. No se trata de que los juicios de experiencia inmediata estén sustraídos a toda posibilidad de error, sino de que —salvo en el caso del estudio psicológico de las ilusiones— raras veces vale la pena ponerlos a prueba.

Las llamadas *proposiciones de protocolo*, formuladas en un lenguaje fenomenalista —como 'Veo en este momento una mancha roja'— se suponen a veces no rectificables, con lo que esas ideales piedras angulares de la ciencia se presentan como conocimiento cierto (no corregible). Pero el hecho es que los enunciados fenomenalistas son corregibles en principio e inútiles para la construcción de la ciencia. En efecto: si se los juzga a la luz de proposiciones de objeto físico, es posible mostrar a veces el error de juicios de percepción: podemos corregir y corregimos en la práctica y afinamos enunciados fenomenalistas con la ayuda de instrumentos y razonamientos científicos que utilizan hipótesis relativas a objetos físicos: así ocurre, por ejemplo, cuando decimos que los rayos que vemos en las estrellas no se encuentran en ellas, sino que se producen en el medio refringente (atmósfera, telescopio, ojo). En resolución, los juicios de percepción, aunque no pueden corregirse mediante juicios *de esa misma clase* (referidos al mismo órgano de los sentidos), pueden corregirse mediante juicios de un nivel superior. En segundo lugar, los enunciados fenomenalistas no son expresiones perfectas, sin distorsión, de pura experiencia preconceptual y sin prejuicio, pues la misma experiencia humana no está nunca completamente libre de la influencia de las expectativas y de las opiniones: en alguna medida, vemos lo que estamos dispuestos a ver, y dejamos de ver lo que no esperamos ver. Además, la expresión de experiencias tiene naturalmente lugar en el lenguaje, y ningún lenguaje propiamente dicho puede evitar el manejo de palabras universales, como 'sentir' (o 'tener la sensación de') y 'rojo'. En tercer lugar, partiendo de meras proposiciones de protocolo no puede inferirse nada que tenga interés científico, como no se recurra a la ayuda de alguna teoría. Cuando alguien pretende "inferir una conclusión" partiendo exclusivamente de un conjunto de juicios de percepción, lo único que puede afirmar correctamente es que esos juicios le empujan (psicológicamente hablando) hacia alguna hipótesis; pero individuos diferentes, que tengan cada uno su propia formación previa, pueden "inferir" muy distintas "conclusiones" de unas mismas experiencias. En cuarto lugar, no pueden utilizarse enunciados fenomenalistas en bruto como evidencia en favor o en contra de hipótesis: esos enunciados tienen antes que interpretarse, esto es, tienen que transformarse en enunciados objetivos formulados en el mismo lenguaje de objeto físico que la hipótesis. O sea: tal como se presentan fenomenalísticamente, esos enunciados no son ni sustitutivos de las hipótesis científicas ni siquiera evidencia relevante para ellas.

Sin duda admitiremos que las proposiciones fenomenalistas son las menos inciertas entre todas las proposiciones empíricas, precisamente por ser las que menos comprometen. Pero no quedan a cubierto de toda crítica, ni, cosa más importante, forman parte de la ciencia, precisamente porque quedan limitadas al sujeto, mientras que la ciencia aspira a objetividad (cfr. Secc. 1.1). Las proposiciones fenomenalistas salen, desde este punto

de vista, peor paradas incluso que el conocimiento ordinario, el cual se expresa principalmente en enunciados del tipo del lenguaje de objeto físico: por regla general no decimos 'Veo una mancha marrón de la forma de una mesa', sino 'Aquí hay una mesa marrón', o bien un análogo enunciado centrado en algún objeto. La pretensión de que los objetos físicos son inferidos, o incluso de que son nociones metafísicas, y de que sólo el objeto fenoménico —o sea, la mesa percibida, no la mesa física— está directamente dado, es una tesis discutida por la física, la psicología y la antropología. En realidad, mientras que cada vez es más posible analizar sensaciones sobre la base de procesos físicos, la reducción inversa es imposible. Por eso los niños, los primitivos y los adultos que no sufren de sofisticación filosófica no son fenomenistas ni hablan como tales: sólo ciertos filósofos, en su búsqueda de certeza, inventan objetos puramente fenoménicos y lenguajes fenomenalistas. En cualquier caso, el atenernos a la experiencia inmediata —de ser ello posible— no nos liberaría tampoco de los demonios fisicalistas, pues los juicios de objeto físico se piensan espontáneamente a propósito de fenómenos, mientras que las proposiciones fenomenalistas suelen más bien inferirse de esos juicios espontáneos. Pero ni siquiera en el caso de que fueran eficaces los ritos de purificación fenomenista se interesaría la ciencia por ellos, porque la investigación científica es el arriesgado intento de saltar más allá de la apariencia, a los hechos objetivos, y esto le obliga a inventar hipótesis. La ciencia no se interesa por la apariencia sino en la medida en que ésta es una ambigua pista de la realidad.

Otro expediente para eludir la contrastación empírica consiste en maximizar la *vaguedad*. Ciertas frases restrictivas como 'en determinadas circunstancias', 'en condiciones favorables' y '*mutatis mutandis*' pueden producir fáciles verdades, o sea, verdades tan insensibles a los detalles empíricos que llegan a parecerse mucho a las verdades lógicas. Así, por ejemplo, difícilmente pondrá en duda un psicólogo moderno que "La condición del sistema nervioso en un determinado momento determina el comportamiento en un momento posterior". Pero esa proposición es tan vaga que casi resulta incontrastable, y la incontrastabilidad es un precio demasiado elevado para comprar con ella la certeza. En realidad, si la condición, el comportamiento y la relación entre una y otro no se especifican, cualquier ejemplo de comportamiento servirá como evidencia confirmadora de esa hipótesis, puesto que, cualquiera que sea su naturaleza, todo acontecimiento comportamentístico estará sin duda precedido por *algún* estado del sistema nervioso; sólo si se formula la hipótesis de una *precisa* relación entre los estados neurales y los de comportamiento conseguiremos una hipótesis plenamente contrastable. En general, las relaciones funcionales indeterminadas —o sea, las funciones no especificadas, de tal modo que no pueda inferirse una variable de las demás— son incontrastables. Una expresión como "*y depende de x*", o sea " $y = f(x)$ ", no es una proposición, sino

una función proposicional, si no se especifican (interpretan) más que las variables y se deja sin determinar la función *f*. Es obvio que no podemos someter a contrastación algo que no ha sido siquiera formulado. En este caso no nos encontramos propiamente con una hipótesis, sino con una *hipótesis de relación*, una hipótesis de trabajo o programática que es como un hueco a rellenar mediante la investigación. A veces adoptamos fórmulas vagas, por ignorancia o porque deseamos que sean lábiles, del mismo modo que el legislador adopta frecuentemente expresiones vagas con el fin de dejar los detalles en manos del juez. Pero antes de intentar tales supuestos, tenemos que precisarlos: tal como se presentan, evitan demasadamente todo compromiso, y las contrastaciones empíricas lo que buscan es precisamente obligarnos a comprometernos.

Pero el modo más difundido y cándido —o perverso, según los casos— de eludir la contrastación empírica y conseguir certeza es formular hipótesis sobre objetos *inescrutables*. El diablillo o espíritu maligno de Descartes, “sumamente poderoso e inteligente y que hace todo lo que puede por engañar” al filósofo, sin permitirle darse cuenta de que le está engañando, es un objeto inescrutable de este tipo. Pues haga lo que haga Descartes, no podrá nunca detectar la presencia de ese espíritu maligno: localizarle supondría haber eludido su vigilancia, lo cual queda excluido *ex hypothesi*. Así también es insensible a toda evidencia la hipótesis de la existencia del alma: ni siquiera la decapitación de una persona, con el cese del sentir y el pensar en ésta, falseará esa hipótesis, pues se nos podrá argüir que todo lo que ha ocurrido con la decapitación es que el alma ha perdido su canal normal de comunicación con el mundo material. Si rechazamos la hipótesis de la existencia del alma, no es porque haya sido brillantemente *refutada* por experimentos modernos, sino más bien porque ningún experimento imaginable puede rectificarla ni siquiera ligeramente. Otro distinguido miembro de la clase de las hipótesis evasivas es el siguiente: “Todo lo que hace un organismo se debe a que algún instinto le mueve a comportarse de ese modo”. Cuando una madre protege a su hijo, se trae a colación el instinto maternal, y cuando un hombre ataca a otro se invoca el instinto de agresión. Y si una madre no protege a su hijo o un hombre no ataca a nadie, entonces se nos explica que el instinto es débil, o está latente, o reprimido, o dominado por un instinto más fuerte, como el de conservación. De este modo se consigue que todo dato imaginable aparezca como evidencia en favor de la hipótesis. Y no podemos rechazar esas conjeturas tildándolas de falsas, sino porque la experiencia es irrelevante para ellas y, por tanto, no podemos atribuirles ningún valor veritativo. Y como lo que deseamos es conseguir la verdad, aunque sea parcialmente, no podemos considerar esas fórmulas evasivas como candidatas al título de hipótesis científicas.

Otro expediente, más refinado, para eludir la contrastación empírica sin dejar de hablar al mismo tiempo muy sinceramente de la experiencia.

consiste en presentar conjeturas que, cada una por sí misma, pueden ser contrastables o no serlo, pero que, en todo caso, se salvan de cualquier refutación mediante supuestos *ad hoc*. Con objeto de levantar ese muro protector de la conjetura básica, la protectora no tiene que ser *independientemente contrastable*. Supongamos que deseamos salvar la dinámica aristotélica haciéndola coherente con el principio de inercia, según el cual, a falta de fuerzas externas, un cuerpo permanece en reposo o en movimiento con velocidad constante. Puede fácilmente conseguirse un parche de este tipo añadiendo la hipótesis *ad hoc* de que todo cuerpo está sometido a una fuerza interna constante, independiente de la constitución y la estructura del mismo y, por tanto, inescrutable. Con este añadido, la ley básica de la dinámica aristotélica se convierte en lo siguiente: “La fuerza total (interna más externa) es proporcional a la velocidad”. Y en ausencia de fuerzas externas, nos queda: “La fuerza interna es proporcional a la velocidad”; y como esta fuerza interna es constante por hipótesis, la velocidad también es constante, lo cual concuerda con la ley de inercia. Luego se explica el caso del reposo como un equilibrio entre la fuerza interna del cuerpo y las fuerzas internas del medio. Mas la teoría así salvada con ese parche resulta incoherente con otros hechos no tenidos en cuenta al proponer la hipótesis *ad hoc*. Así, para la caída libre en el vacío tendríamos que sumar la fuerza interna al peso constante del cuerpo, y hallaríamos una velocidad constante, en contradicción con el experimento. Como todas las conjeturas de este tipo, nuestra hipótesis *ad hoc* no es coherente con la totalidad de la evidencia: lo cual era inevitable, puesto que se introdujo sólo para salvar la ley básica aristotélica de una sola de sus consecuencias desfavorables. Pocas hipótesis *ad hoc* son expedientes de uso universal, como la hipótesis *ad hoc* freudiana de la represión (cfr. Secc. 1.6).

*No siempre es fácil determinar la contrastabilidad empírica: a veces una hipótesis científica se considera (erróneamente) empíricamente contrastable (o incontrastable). Un caso famoso de este tipo es el llamado principio de exclusión por competencia, en ecología, el cual puede formularse así: “Competidores completos no coexisten mucho tiempo”. El principio significa que si dos especies tienen las mismas exigencias ecológicas y ocupan el mismo territorio, una de ellas acabará por extinguirse. Se admitió que el principio, aunque verdadero, era insensible a la experiencia, porque si dos especies en competencia completa coexisten a pesar de ello, siempre podemos salvar el principio admitiendo que hay en su ecología alguna diferencia pequeña y aún por registrar, pero que se descubrirá un día. Pasando por alto las confusas alusiones a un enunciado verdadero y al mismo tiempo supuesto incontrastable, esa objeción es correcta. Pero no ejemplifica sino una dificultad común a todas las hipótesis científicas: la suposición de una identidad exacta, si se refiere a objetos concretos, no puede ser sino aproximadamente verdadera (cfr. Secc. 6.1). En realidad, podemos estar seguros de que no habrá dos especies que tengan exactamente la misma ecolo-

gía, de modo que ya por anticipado sabemos que el principio ecológico de exclusión no puede ser rigurosamente verdadero. Lo que hay que hacer no es rechazar el principio, sino darle una forma más realista, relajando la cláusula y no exigiendo más que una ecología análoga en las especies competidoras: dicho brevemente, formulándolo para competidores casi completos. En esta forma el principio es: "Para todo x y para todo y , si x e y son competidores casi completos, entonces x se extingue o y se extingue". Para someter esa hipótesis a contrastación reunimos dos poblaciones de exigencias ecológicas muy parecidas y observamos su desarrollo. Esto quiere decir que afirmamos a título de ensayo la hipótesis: afirmamos firmemente su antecedente y ponemos a prueba su consecuente. Al cabo de un tiempo recogemos datos acerca del consecuente (o sea, la extinción de una especie) e inferimos el valor veritativo de la hipótesis. Si averiguamos que una de las poblaciones se ha extinguido o casi extinguido, inferimos que el principio ha quedado *confirmado en este caso*. Si descubrimos, en cambio, que las dos especies coexisten, inferimos que la hipótesis ha sido *refutada* en este caso, y, por tanto, refutada como hipótesis universal. En este último caso podemos intentar salvar la hipótesis suponiendo que el período de observación ha sido insuficiente para permitir que se manifestaran las ventajas de una especie respecto de la otra. De este modo puede retrasarse por algún tiempo la decisión desfavorable, pero el crítico tiene siempre derecho a pedir que el principio se reformule entonces de un modo más preciso, con una referencia al período de extinción supuesto para una de las poblaciones, o a la intensidad de la concurrencia en que se encuentren las dos especies. Desde este punto de vista la vaga formulación del principio ecológico de exclusión no difiere de la de cualquier otra hipótesis laxamente presentada. En conclusión, el principio es *débilmente contrastable*, pero no insusceptible de contrastación. Moraleja: habría que introducir un concepto comparativo de contrastabilidad.*

'Empíricamente contrastable' significa sensible a la experiencia. Ahora bien: una hipótesis sensible a datos empíricos puede verse apoyada (confirmada) o minada (desconfirmada) por ellos. Las hipótesis contrastables pueden por tanto ser (i) puramente *confirmables*, (ii) puramente *refutables* o (iii) *confirmables y refutables*. Las hipótesis puramente confirmables son las menos contrastables, pero podemos someterlas a prueba si tienen algún fundamento. Si no nos interesa en absoluto la confirmabilidad —esto es, si somos refutabilistas extremos— perderemos la oportunidad de aplicar nuestras hipótesis a casos particulares y observar cómo se comportan. Por otra parte, de seguir esa corriente refutabilista extrema no podríamos tampoco interesarnos por la verdad factual, puesto que ésta se contrasta en parte por la *concordancia* con los hechos, o sea, por confirmación. Aún más: tendríamos que aceptar como científica una conjetura estúpida como aquella de Himmler según la cual las estrellas son de hielo; pues una conjetura así no puede ser sino refutada. Consiguientemente, convendremos

en (i) que la confirmabilidad es *necesaria y suficiente* para la contrastabilidad empírica, y (ii) que la refutabilidad no es necesaria ni suficiente para la contrastabilidad empírica, pero sí necesaria para la contrastabilidad *óptima*, propia de hipótesis que pueden ser confirmadas y refutadas, o sea, de hipótesis para las cuales puede concebirse, basándose en el conocimiento previo, una evidencia favorable y una evidencia desfavorable. Y recordaremos al mismo tiempo que la contrastabilidad sola, sin fundamento o convalidación teórica, es insuficiente para considerar científica una hipótesis (cfr. la Secc. anterior).

Si rechazáramos todas las hipótesis puramente confirmables (irrefutables), mutilaríamos a la ciencia, arrebatándole amplios sectores en los cuales desempeñan un papel de importancia hipótesis existenciales indeterminadas ("Hay algún A") e hipótesis probabilitarias ("La probabilidad de que un A sea B es igual a p "). Examinemos esos dos tipos de hipótesis. "Hay alguna señal más rápida que la luz" es una *hipótesis existencial indeterminada*. Sólo puede confirmarse: el hecho de que no se detecte ni produzca nunca una tal señal no refutará concluyentemente la posibilidad de descubrirla o producirla en el futuro, del mismo modo que los lamentables fracasos de la divisa de 1789 *Liberté, égalité, fraternité* no destruyen la hipótesis programática de que sea posible construir una sociedad humana sobre la base de la libertad, la igualdad y la fraternidad. Sólo argumentaciones teóricas muy sólidas pueden decidir (temporalmente) acerca de tales hipótesis. Negar la existencia de señales más rápidas que la luz por el mero hecho de que no se ha hallado hasta ahora evidencia en su favor o porque ninguna teoría conocida las prevé sería simple dogmatismo. *Suele creerse que las teorías relativistas prohíben la existencia de señales más veloces que la luz, pero esa creencia es errónea: esas teorías dicen a este respecto que los cuerpos no pueden alcanzar la velocidad de las ondas electromagnéticas. Pero eso no niega ni puede negar la existencia de otras clases de campos con diferente velocidad de propagación.* También sería dogmático afirmar aquella hipótesis, pues, en última instancia, su único apoyo —bastante débil— es la hipótesis ontológica de la variedad ilimitada de la naturaleza, junto con el precepto epistemológico de no tomar las fronteras del conocimiento humano por límites de la naturaleza. No podemos afirmar aquella hipótesis más que por vía de ensayo, y sólo si disponemos de alguna indicación de que su estudio va a valer la pena.

Es indiscutible el valor heurístico de muchas de esas hipótesis irrefutables y confirmables. Piénsese, por ejemplo, en las hipótesis "Hay transuránicos", "Hay antiprotones", "Hay neutrinos", todas ellas exclusivamente confirmables y sumamente fecundas. Además, ninguna investigación histórica sería posible sin hipótesis de este tipo. Consideremos, por ejemplo, el caso del paleontólogo que, sobre la base de su conocimiento de una especie viviente y de su extinguido antepasado, formula la hipótesis de la existencia de una forma intermedia. Su único fundamento es hasta este

punto la hipótesis básica de la estricta continuidad de las líneas de descendencia biológicas. El que no se encuentre evidencia, ni viva ni fósil, en favor de su hipótesis del eslabón perdido no contará gran cosa contra ella. De hecho el paleontólogo protegerá su fundada conjetura con la hipótesis *ad hoc* (pero contrastable en principio) de que ningún resto del eslabón intermedio puede haber llegado a nosotros, ya porque no se dieran las condiciones de fosilización, ya porque haya destruido toda evidencia algún proceso físico, como un cataclismo geológico. Sólo el efectivo descubrimiento de un ejemplar parecido a la reconstrucción imaginaria asentará la hipótesis —o, por mejor decir, una versión refinada de la misma—; pero mientras no se cuente con ese descubrimiento, habrá que acoger la hipótesis para salvar un importante cuerpo de conocimiento. Si no se hubiera seguido esta línea de conducta, habría habido que rechazar la hipótesis darwiniana de la ascendencia del hombre y, por tanto, esa hipótesis no habría orientado la investigación de campo que llevó finalmente a su propia confirmación. Análogamente, el *detective* se dará razón de algunos de sus fracasos con la hipótesis "Hay crímenes que no dejan huellas perceptibles", y el epistemólogo postulará "La mayoría de los acontecimientos no son observados". Hay buenos motivos para considerar verdaderas muchas hipótesis de ese tipo, y, por tanto, también para aceptarlas; pero, en todo caso, no existe procedimiento para refutarlas.

También las *hipótesis probabilísticas* son confirmables e irrefutables, o, a lo sumo, débilmente refutables. Consideremos la hipótesis: "La probabilidad de sacar un as con un dado cualquiera sin trampa es de $1/6$ ". Se trata de una conjetura fundada, más que de una mera generalización empírica a partir de la observación de pasadas experiencias. El hecho es que el estudio dinámico del dado muestra que todas sus caras tienen la misma probabilidad de salir. El problema consiste pues en preguntar a la experiencia si es efectivamente verdadera la hipótesis fundada " $P(as) = 1/6$ ". Antes de someter la hipótesis a contrastación tenemos que formularla con términos empíricos, porque la probabilidad es tan inobservable como la honestidad: sustituimos "probabilidad" por "frecuencia relativa a largo plazo", y "sin trampa" u "honestamente" por "equilibrado". Pedimos además que el lanzamiento del dado sea casual, no orientado. Con estas transformaciones nuestra inicial hipótesis probabilística se ha convertido en la siguiente conjetura, que es estadística y física: "La frecuencia relativa a largo plazo del acontecimiento 'as' en una secuencia de lanzamientos al azar de un dado equilibrado es próxima a $1/6$ ". Supongamos ahora que lanzamos el dado 60 veces y que sólo observamos la salida de un as, en vez de las 10 salidas de as aparentemente previstas por nuestra hipótesis. ¿Rechazaremos ésta? En modo alguno: sabemos que la ausencia de datos favorables no es una refutación fuerte en el caso de hipótesis estadísticas. Lo que probablemente haremos es asegurarnos de que han quedado satisfechas las condiciones de equilibrio del dado y de lanzamiento

al azar; si nuestro examen no descubre defecto alguno desde esos puntos de vista, concluiremos que hemos contemplado una serie poco probable, aunque posible, de acontecimientos desafortunados. Sabemos que a corto plazo pueden ocurrir anomalías como ésta, y que las leyes estadísticas no valen más que a largo plazo. Por tanto, probamos de nuevo con una secuencia más larga, de 600 lanzamientos, por ejemplo. Y si la frecuencia observada sigue siendo muy diferente de la prevista, podemos seguir aferrándonos a nuestra hipótesis, puesto que la sabemos muy bien *confirmada* por pasadas experiencias, y pedir una secuencia aún más larga. Pero por larga que sea la secuencia de lanzamientos, sigue subsistiendo la posibilidad de amplias fluctuaciones respecto de la probabilidad; por otra parte, si se eliminan esas fluctuaciones respecto del valor medio y obtenemos una secuencia perfectamente ajustada, es que no estamos ya ante un fenómeno de azar. Pero podemos por lo menos estar seguros de que la probabilidad de una gran desviación respecto de la frecuencia relativa media disminuirá uniformemente con el aumento de longitud de la secuencia; esto puede demostrarse teóricamente y confirmarse por la observación (traduciendo primero este enunciado de probabilidad de segundo grado por la correspondiente frecuencia relativa de la discrepancia). Esto es lo más parecido a la certeza que podemos conseguir. Concluimos que las hipótesis estadísticas son difíciles de falsear empíricamente, pero no son insusceptibles de contrastación. (La débil contrastabilidad de las hipótesis estadísticas es una buena razón para pedir que se enlacen con otras hipótesis más fácilmente contrastables. Dicho de otro modo: como es imposible someter a contrastaciones empíricas duras ninguna hipótesis irreductiblemente estadística, es deseable relacionar toda hipótesis de este tipo con otras más estrictas, tal vez referentes a acontecimientos de nivel inferior o superior. Esta consideración metodológica hace sospechoso al indeterminismo irreductible.)

Lo que hemos visto muestra por qué consideramos que la confirmabilidad es necesaria y suficiente para la contrastabilidad. Pero si una hipótesis es irrefutable o casi irrefutable, consideraremos que tiene una *contrastabilidad más débil* que la de las hipótesis que son refutables además de confirmables. Además, intentaremos *compensar* esa débil contrastabilidad mediante una fundamentación robusta. Por ejemplo, si la hipótesis es estadística, suministraremos un fundamento de la misma construyendo un modelo teórico. Sólo consideraremos exclusivamente propias de la especulación o de la pseudociencia las conjeturas que sean irrefutables e infundadas.

Por otra parte, no exigiremos que toda hipótesis sea *directamente* contrastable: esta exigencia, presentada por el empirismo, haría imposible la teoría científica. Efectivamente, una teoría científica, lejos de ser un acúmulo de enunciados empíricos, es un sistema de varios niveles, cuyas fórmulas más altas no son directamente comparables con informes empíricos. Además, algunas teorías físicas perfectamente respetables contienen

fórmulas de nivel intermedio (teoremas) que son empíricamente incontrastables, como es el caso de las fórmulas de la mecánica cuántica que se refieren al movimiento de una partícula en una caja cerrada. Aceptamos esas teorías, que tan manifiestamente violan el requisito de contrastabilidad completa, porque dan de sí consecuencias verdaderas. Por eso adoptamos un punto de vista realista y exigimos de toda fórmula teórica o bien (i) que implique fórmulas directamente contrastables, o bien (ii) que sea *implicada* por fórmulas con consecuencias contrastables. Cuando una fórmula no es directamente contrastable ni tiene consecuencias empíricamente contrastables, pero es al mismo tiempo teorema de una teoría contrastable por otras vías, podemos admitir que esa fórmula es *indirectamente contrastable*: toda evidencia relevante para los supuestos que implican la fórmula considerada puede considerarse como una *evidencia* indirecta relevante para la fórmula en cuestión. (Cfr. Fig. 5.5.)

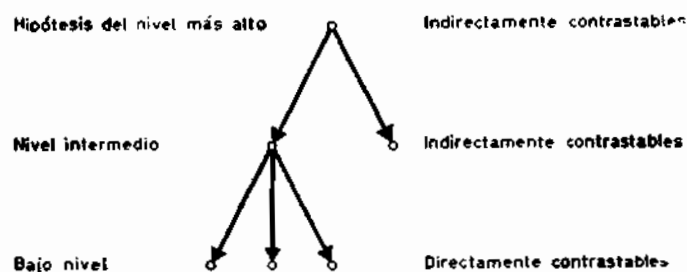


FIG. 5.5. El teorema situado en la rama de la derecha de ese árbol deductivo no implica ninguna consecuencia empíricamente contrastable; no puede ser apoyado ni destruido más que desde arriba.

Por último, no exigiremos la contrastabilidad de toda fórmula que se presente en la ciencia porque algunas fórmulas, aunque fecundas, no pueden ser ni siquiera falsas. Tales son, además de las reglas de inferencia, las fórmulas de las clases siguientes: (i) *reglas* de método, (ii) *convenciones*, como las referentes a las unidades utilizadas, y (iii) *criterios* para estimar porciones de la ciencia, o sea, criterios de contrastabilidad. Ninguna de las fórmulas de esos tres tipos puede ser sometida a contrastación para averiguar su valor veritativo, aunque todas ellas deben someterse a contrastación desde el punto de vista de su conveniencia o fecundidad. Así, por ejemplo, se condena por estéril una regla de método que no lleve al resultado deseado, y también resulta indeseable una regla de método cuya fecundidad no pueda ponerse a prueba. Podemos exigir la contrastabilidad de toda pieza de la ciencia con la condición de ampliar el concepto de contrastabilidad hasta incluir en él la *contrastabilidad pragmática* de una fórmula, o sea, la posibilidad de mostrar que la fórmula es —o no es— conveniente o fecunda.

En resolución: establecemos un criterio amplio de contrastabilidad, según el cual toda hipótesis (no toda fórmula) tiene que ser por lo menos confirmable —y, a poder ser, también refutable— directa o indirectamente. Ahora podemos ya resumir todos los requisitos que hemos ido imponiendo a las hipótesis científicas.

PROBLEMAS

5.6.1. Examinar la hipótesis singular: "Nevó en la Isla de Manhattan el día 1 de enero del año 1 d. J. C.", discutida por B. RUSSELL en su obra *An Inquiry into Meaning and Truth*, London, Allen and Unwin, 1940, págs. 277 ss. ¿Es esa hipótesis significativa, empíricamente contrastable, fundada y/o verosímil? ¿Sería posible modificarla para hacerla más verosímil?

5.6.2. Examinar la contrastabilidad de las ideas siguientes: (i) "Todo lo que ocurre es designio de la Providencia". (ii) "Las desgracias son castigos de los pecados o prueba de la fe". (iii) "Todo lo que ocurre es históricamente necesario". (iv) "Cuando una época necesita un gran hombre lo encuentra". (v) "Los pájaros pueden aprender a seguir los movimientos de casi todo objeto adecuado" (leído en un estudio sobre comportamiento animal).

5.6.3. Examinar las siguientes conjeturas desde el punto de vista de su contrastabilidad. (i) "La causa del cambio social es cierto proceso económico". (ii) "Las ideas de una época dependen del modo de producción que predomina en la misma". (iii) "Todas las especies animales son modificaciones de un tipo original (Urtier), modelo morfológico eterno copiado con mayor o menor éxito por las varias especies reales" (Goethe).

5.6.4. C. G. Jung afirmó que las personas aparentemente extravertidas son íntimamente intravertidas, y viceversa, o sea, que la gente que se comporta como si fuera extravertida es inconscientemente intravertida, y viceversa. Examinar la contrastabilidad de esta conjetura.

5.6.5. Examinar la contrastabilidad de las siguientes hipótesis psicoanalíticas. (i) "Los niños consiguen placer sexual realizando sus funciones excretoras". (ii) "Todos los machos tienen un complejo de Edipo, en forma manifiesta o reprimida". (iii) "Los críticos del psicoanálisis ilustran la hipótesis psicoanalítica del instinto agresivo y la de los mecanismos de defensa (protección inconsciente de algo que el sujeto desea ocultar)". *Problema en lugar de ése*: Estúdiese la contrastabilidad de la hipótesis de que el espíritu, aunque inmaterial, interacciona con el cuerpo. Véase M. BUNGE, *The Mind-Body Problem*, Oxford, Pergamon, 1980.

5.6.6. ¿Cuántos datos son necesarios y suficientes para establecer y para refutar las piezas siguientes? (i) Una hipótesis singular. (ii) Una hipótesis existencial. (iii) Una hipótesis universal restringida. (iv) Una hipótesis universal no restringida. *Problema en lugar de ése*: Si una hipótesis es totalmente irrefutable, no es científica. ¿Vale la afirmación inversa, o sea, es verdad que si una hipótesis es refutable es científica?

5.6.7. Los sostenedores de la interpretación subjetivista de la probabilidad como medida del grado de creencia personal (y de nada más) afirman que las

creencias (ya sean de conocimiento ordinario, ya de conocimiento científico) son insensibles a los hechos. De ello inferen (correctamente) que todo enunciado de probabilidad, como la estimación de la probabilidad de un acontecimiento, es subjetivo e insusceptible de prueba o refutación por la experiencia, o sea, dicho brevemente, insusceptible de contrastación. ¿Llevan razón? Si tal es el caso, ¿hay que eliminar de la ciencia la teoría de la probabilidad o hay que abandonar la exigencia de contrastabilidad?

5.6.8. Examinar las diferencias entre hipótesis que aspiran a representar un aspecto de la realidad y las ficciones que sirven como auxiliares. Según el kantismo, las primeras deben ser contrastables, y las segundas, útiles. Cfr. H. VAHNINGER, *Die Philosophie des Als Ob*, 4.^a ed., Leipzig, Meiner, 1920, cap. XII, y M. BUNGE, *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, cap. 10. Cfr. también el problema adicional 8.2.10. *Problema en lugar de éste*: Estudiar la relación entre conceptos inescrutables y supuestos incontrastables.

5.6.9. Discutir la contrastabilidad de las siguientes hipótesis: (i) "Hay al menos dos cosas exactamente idénticas en el mundo". (ii) "Hay cosas que no pueden entrar en interacción con ningún otro sistema físico". (iii) "Hay campos que no pueden detectarse con medios físicos y que transmiten ideas". (iv) "El espacio físico está contenido en un espacio de mayor dimensionalidad, pero esas otras dimensiones no se manifiestan". (v) "El universo es espacialmente infinito". (vi) "El universo es espacialmente finito". (vii) "El universo fue creado hace varios billones de años". (viii) "Hay infinitos niveles por debajo del nivel de las partículas elementales hoy conocidas". (ix) "Todos los organismos, incluidas las plantas, pueden sentir dolor". (x) "Un sistema nervioso central completo mantenido vivo en un laboratorio podría sentir y pensar aunque se encontrara privado de los órganos mediante los cuales manifiesta normalmente su funcionamiento".

5.6.10. Examinar la doctrina según la cual el reconocimiento de las propiedades fenoménicas (qualia) es incontrastable, y, por esa razón, los qualia deben tomarse como las unidades básicas para la sistematización de la experiencia. La realización más completa e impresionante de este programa anti-democrático puede verse en la obra de N. GOODMAN *The Structure of Appearance*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1951. Por lo que hace a la incontrastabilidad del reconocimiento del quale, cfr. pág. 99 ss.; sobre reducción de todo objeto individual a sumas de uno o más qualia, cfr. págs. 175 ss. Y para comprobar la inviabilidad de ese programa véase cualquier tratado de física. *Problema en lugar de éste*: Dilucidar los conceptos de *apoyo posible* y *falsador posible* de una hipótesis, y construir con su ayuda el concepto de grado de contrastabilidad de una hipótesis respecto de un procedimiento empírico y a la luz de un conjunto de teorías. Tener en cuenta que, en el caso de las hipótesis científicas, sus apoyos y sus falsadores pueden no tener los mismos referentes, o sea, que pueden ser algo más que meros ejemplos o contraejemplos; así, toda evidencia relevante para una microhipótesis es un enunciado referente a algún macrohecho.

5.7. Requisitos

Mucho antes de que una conjetura reciba el título de Hipótesis Verdadera —título que en algún caso puede durar menos que el de Campeón del Mundo— tiene que mostrar que es una conjetura científica. A través de una serie de pruebas preliminares de carácter no empírico, la hipótesis tiene que mostrar consistencia lógica, compatibilidad con el cuerpo del conocimiento científico y capacidad de ser sometida a la experiencia. En la Secc. 5.2 dijimos que ése es el orden correcto que deben seguir las operaciones de contrastación. En esta Sección vamos a justificarlo.

La consistencia lógica incluye ciertos caracteres sintácticos y semánticos que tienen que averiguarse antes de tomar en consideración contrastaciones empíricas. Ante todo, la *fuerza lógica*, concepto sintáctico que puede introducirse mediante la *Definición*: "Una fórmula *A* es lógicamente más fuerte que una fórmula *B* si y sólo si *A* implica *B*". Simbólicamente: $[F(A) \geq F(B)] =_{df} A \vdash B$. Así, por ejemplo, *p* es más fuerte que $p \vee q$ porque, dado *p*, por el principio de adición podemos añadirle en disyunción un *q* cualquiera. Por esta misma razón $x = y$ es más fuerte que $x \geq y$ —o sea, que $x = y$ o $x > y$ —, porque $(x = y) \vdash (x = y \vee x > y)$. Y $p \& q$ es más fuerte que *p* o que *q*, porque una conjunción implica sus componentes. Por la misma razón $(x)P(x)$ es más fuerte que *P(c)*. Y, por el principio de adición, *P(c)* es a su vez más fuerte que $(\exists x)P(x)$ —lo cual puede ponernos en guardia contra la tentación de identificar la fuerza con la generalidad.

Todo axioma es lógicamente más fuerte que los teoremas derivados de él. Y si *A* y *B* son recíprocamente deducibles, son de igual fuerza. Las fórmulas lógicamente válidas, o sea, las fórmulas analíticas, son las más débiles, porque se siguen de cualquier fórmula, incluido el conjunto vacío de fórmulas. Las tautologías tienen pues la fuerza mínima. En cambio, las fórmulas lógicamente falsas (contradicciones) tienen la fuerza máxima, porque de ellas se sigue cualquier cosa. (Simbólicamente: $\phi \vdash L$ y $\neg L \vdash U$; ' ϕ ' designa el conjunto vacío, '*U*' el conjunto de todas las fórmulas y '*L*' el conjunto de las verdades lógicas.)

En lógica intentamos establecer fórmulas máximamente débiles, o sea, tales que se sigan de cero premisas y se convaliden por tanto a sí mismas. En la matemática preferimos en cambio las suposiciones más fuertes compatibles con la lógica, o sea, las afirmaciones que den de sí el conjunto más rico posible de teoremas recíprocamente coherentes. (Podría decirse que esta diferencia en cuanto a la fuerza es la diferencia principal entre la lógica y la matemática.) Por último, en la ciencia factual, al igual que en la matemática, seguimos una vía intermedia entre la debilidad máxima de la verdad lógica y la fuerza máxima de la contradicción.

La fuerza lógica es una fuente de *determinación* o falta de vaguedad,

así como de contenido informativo. Esa determinación, que es una propiedad semántica, parece claramente relacionada con la fuerza, que es una propiedad sintáctica; pero eso no está demostrado. Así, por ejemplo, "Todos los P son Q " es más fuerte y más determinada que "La mayoría de los P son Q " o "Algunos P son Q ". Y el aura de vaguedad que puede rodear a " $P(c)$ " es en cualquier caso menor que la niebla que envuelve a su consecuencia " $(\exists x)P(x)$ ". Pero, desde luego, dos fórmulas de igual determinación pueden tener distinta fuerza, como en el caso de " $(x)P(x)$ " y " $P(c)$ ". O sea: la fuerza es suficiente, pero no necesaria para la determinación. Más precisamente: $[F(A) > F(B)] \rightarrow [D(A) \geq D(B)]$, siendo ' D ' la determinación o ausencia de vaguedad (cfr. Secc. 3.1).

Otra ventaja de la fuerza es el *contenido informativo*: de dos fórmulas de desigual fuerza lógica, la más fuerte puede almacenar más información. Esto es obvio en el caso de las fórmulas formalmente verdaderas, las cuales son las más débiles y, además, vacías; y también es obvio en el caso de las contradicciones, que tienen fuerza máxima y contenido máximo. La tautología "Las cosas son extensas o inextensas" no dice nada acerca de las cosas: el concepto de cosa se presenta de un modo vacío en ella, lo que quiere decir que puede sustituirse tranquilamente por cualquier otro concepto del mismo tipo. Y la contradicción "Las cosas son extensas e inextensas" dice demasiado: abarca demasiado, hasta el punto de ser compatible con evidencias incompatibles. Las verdades formales y las contradicciones son por tanto indeseables en la ciencia: las primeras, porque su contenido es nulo; las últimas, porque su contenido es universal. Por la misma razón debemos intentar prescindir (¡cuando es posible!) de proposiciones modales. Una proposición tal como "Es posible volver vivo de la Luna" puede unirse sin contradicción con "Es posible volver muerto de la Luna", pero esa conjunción, sin duda más fuerte que cada uno de sus componentes, no interesa al astronauta: aunque no es autocontradictoria, recoge evidencia contradictoria y dice, por tanto, demasiado.

Como deseamos que nuestras hipótesis científicas sean informativas y contrastables, tenemos que evitar los dos extremos de contenido nulo y contenido universal: tenemos que buscar una vía media entre las verdades lógicas, que no dicen nada acerca del mundo y son por tanto incontrastables por la experiencia (pues no hay en la experiencia nada que pueda compararse con ellas), y las falsedades lógicas que, por decir demasiado, son también incontrastables, porque concuerdan con todo lo que ocurra. Formularemos nuestro requisito del modo siguiente: Las hipótesis científicas tienen que ser autoconsistentes y tener la *fuerza lógica máxima respecto de las evidencias empíricas relevantes para ellas*. Simbólicamente: $F(\neg t) > F(h) > F(e) > F(t)$; ' t ' designa cualquier tautología y ' $\neg t$ ' su negación (una contradicción).

Otro modo de formular la condición referente a la fuerza es el siguiente: Las hipótesis científicas tienen que ser sintéticas (no analíticas, sino

factualmente significativas) y tener fuerza lógica máxima respecto de las evidencias empíricas relevantes para ellas. La condición de sinteticidad, entendida en sentido amplio, elimina no sólo las contradicciones, sino también las fórmulas que son verdaderas en virtud de las significaciones de los conceptos que aparecen en ellas. De este modo se elimina el pseudo-problema de la contrastación de convenciones. Así, por ejemplo, no nos preguntaremos ya si el agua pura puede no hervir exactamente a 100°C a presión normal, ni si el peso atómico del oxígeno puede ser ligeramente diferente de 16.

Ahora bien: deseamos que nuestras hipótesis sean sintéticas respecto de las evidencias empíricas que son relevantes para ellas y, al mismo tiempo, deseamos que lógicamente estén tan cerca como sea posible del núcleo del cuerpo de conocimiento disponible, único que puede suministrarles fundamento. No exigimos que *todas* nuestras hipótesis sean deducibles de un determinado cuerpo de conocimiento, pues esto equivaldría a quitar a dicho cuerpo de conocimiento el carácter hipotético y a imposibilitar el progreso. Pero sí que deseamos que *muchas* hipótesis sean deducibles de otras de nivel más alto (postulados), minimizando el número de hipótesis sueltas (extrateóricas). Este desiderátum puede formularse así: Las hipótesis científicas tienen que ser *todo lo aproximadamente analíticas que sea posible respecto del cuerpo del conocimiento disponible*.

A primera vista, ese desiderátum —que mezcla la condición de fundamentación con la de sistematicidad— es incompatible con la condición de sinteticidad. Pero no hay contradicción: lo que pedimos es sinteticidad respecto del cuerpo de información empírica, y analiticidad máxima posible respecto del cuerpo principal de conocimiento previo. Si se prefiere otra formulación, diremos que nuestros desiderata son: analiticidad máxima de la hipótesis respecto de la experiencia acumulada y sinteticidad respecto de la nueva experiencia. Dicho con términos alusivos a la fuerza, toda hipótesis h debe encontrarse a mitad de camino entre cualquier información empírica, e , relevante para ella (y de máxima debilidad) y el cuerpo de conocimiento, P , al cual podrá finalmente incorporarse como teorema o como postulado: $F(P) \geq F(h) > F(e)$. Otro modo posible de formular la condición de analiticidad máxima consiste en decir que deseamos que el cuerpo de conocimiento previo, P , dé a h un valor de verdad superior al que tendría si se rechazara P : $V(h/P) > V(h/\neg P)$. Cuanto mayor es el valor de $V(h/P)$, tanto mejor es la convalidación teórica de h . En el caso extremo en el que h se sigue de P conseguimos la verosimilitud máxima: $(P \vdash h) \rightarrow [V(h/P) = 1]$. En cambio, si lo que se sigue de P es $\neg h$, el valor veritativo previo (teórico) de h será mínimo $(P \vdash \neg h) \rightarrow [V(h/P) = -1]$.

Por ser relevante para la determinación y para el contenido informativo, la fuerza lógica es también relevante para la contrastabilidad. La clase de los apoyos posibles y la clase de los falsadores posibles de una fórmula son más grandes y mejor delimitadas cuanto más fuerte es la fórmula.

A la inversa, cuanto más débil es una fórmula, tanto menos determinada e informativa es, y, consiguientemente, tanto menos sensible a contingencias empíricas. Así, por ejemplo, una disyunción supondrá menos riesgos que cada uno de sus componentes: como es más débil que ellos, queda menos cogida. En cambio, una proposición universal factual (que es una conjunción indeterminada, acaso infinita), como "La carga eléctrica de los electrones es constante", tiene un número ilimitado de oportunidades de entrar en conflicto con la experiencia: su fuerza le da un alto grado de contrastabilidad. Dicho brevemente: *Cuanto más fuerte es una hipótesis, tanto mayor es su contrastabilidad* (K. R. Popper).

La fuerza es una condición necesaria, pero no suficiente, de la contrastabilidad, y, por tanto, esos dos conceptos no son interdefinibles. En realidad, mientras que la fuerza de una fórmula puede determinarse por referencia al contexto en el cual se presenta, la contrastabilidad de esa misma fórmula se estimará no sólo a la luz de ese cuerpo de conocimiento, sino también a la de los procedimientos empíricos existentes o concebibles, como las técnicas de medición. Por ejemplo, a principios de este siglo varios investigadores sugirieron que el mecanismo de los impulsos nerviosos es la liberación de sustancias químicas; en aquel momento (1903), la hipótesis no pareció contrastable y se abandonó, hasta que más tarde se inventaron técnicas adecuadas precisamente con la intención de someterla a contrastación. Del ejemplo se desprende que la contrastabilidad no es nada intrínseco a las hipótesis, sino una propiedad metodológica que las hipótesis poseen en diversos grados y que es relativa a un cuerpo de conocimiento empírico y teórico. Consiguientemente, para expresar "*h* es contrastable" no escribiremos '*C(h)*', sino '*C(h/PE)*', o sea, "*h* es contrastable respecto del conocimiento previo *P* y los procedimientos empíricos *E*".

Otra condición necesaria de la contrastabilidad, que debe añadirse a la madurez técnica, es la presencia de conceptos empíricos en algún punto de la línea del proceso de contrastación: en otro caso, ninguna experiencia sería relevante para nuestra hipótesis. No exigiremos que la hipótesis misma tenga un contenido empírico, porque esta condición eliminaría las hipótesis científicas más importantes, ninguna de las cuales refiere a la experiencia, aunque puedan contrastarse con la ayuda de experiencia que afecta a ciertas distantes consecuencias de dichas hipótesis. Todo lo que exigiremos en este respecto es que la hipótesis, en conjunción con algún cuerpo de conocimiento, implique fórmulas *aproximadamente traducibles* a proposiciones de observación. Por ejemplo, la hipótesis de que el electrón libre tiene un spin (una especie de rotación intrínseca) no tiene ningún contenido observable; no sólo el spin mismo es un inobservable, sino que además es posible mostrar teóricamente que ningún experimento puede medir el spin de los electrones libres. Pero la hipótesis del spin, junto con otros supuestos, da razón de ciertas observaciones (como la escisión de las líneas espectrales por campos magnéticos) referentes a sistemas

más complejos (átomos, por ejemplo) compuestos por electrones con su spin. (Además, sólo la teoría del spin del electrón puede convertir datos de este tipo en evidencias relevantes para sí misma; en cierto sentido, pues, las contrastaciones empíricas son un asunto de familia.) Podemos también considerar hipótesis psicológicas: la lealtad a los hechos no se garantiza por la mera abstención de formular hipótesis acerca de acontecimientos mentales, sino siendo capaces de deducir de esas hipótesis consecuencias que se refieran a hechos observables, de comportamiento o fisiológicos. Los supuestos relativos a actividades de alto nivel no serán, por definición, contrastables mediante inspección directa, pero tendrán que implicar consecuencias que contengan conceptos de comportamiento y/o fisiológicos exclusivamente, si es que han de considerarse contrastables. Dicho brevemente: la contrastabilidad no exige referencia empírica, sino más bien la posibilidad de ser parte de una red conectada con fórmulas de observación.

Además, ninguna hipótesis es *contrastable independientemente*, porque ninguna premisa es por sí misma suficiente para derivar consecuencias contrastables. En el caso de conjeturas sueltas necesitaremos una parte del cuerpo de conocimiento previo (cfr. Secc. 5.2). En el caso de una teoría necesitaremos, además de la hipótesis misma, otros supuestos de la teoría y/o datos empíricos (pues ninguna hipótesis da por sí misma información empírica). Así pues, la cuestión no estriba en si una teoría contiene algún supuesto que no sea independientemente contrastable y tenga por tanto que considerarse sospecho, sino más bien (i) en si cada uno de los supuestos de la teoría es efectivamente *necesario* para la deducción de consecuencias contrastables, (ii) en si los axiomas constituyen un todo consistente que tenga por lo menos *algunas* consecuencias empíricamente contrastables (teoremas de bajo nivel), y (iii) en si no hay hipótesis *ad hoc* que no sirvan más que para sostener alguna de las hipótesis y sean insusceptibles de contrastación independientemente de las hipótesis a las que protegen.

La exigencia de que un sistema de hipótesis (teoría) no contenga supuestos innecesarios para deducir proposiciones contrastables tiende a excluir hipótesis parásitas incontrastables adheridas a un sistema que en lo demás es contrastable y beneficiadas así de un apoyo aparente prestado por la confirmación de los teoremas de bajo nivel. Y la relajación de la condición de que las teorías no tengan más que consecuencias empíricamente contrastables apunta a conservar teorías que, como la mecánica cuántica, contienen supuestos sin consecuencias contrastables, a menudo porque se refieren a sistemas no sometidos a las perturbaciones necesarias para conseguir de ellos informaciones. Podemos considerar esas hipótesis como indirectamente contrastables (cfr. Secc. 5.6) o sea, como contrastables a través de otras fórmulas de la teoría, las cuales disfrutaban de apoyo empírico. Por último, la condición referente a las hipótesis protectoras se

formula para evitar situaciones comunes en la pseudociencia, en la cual cada hipótesis suelta puede acaso ser contrastable, pero el conjunto de la doctrina está construido de modo que se sustraiga a toda contrastación, o sea, las varias conjeturas se protegen unas a otras de tal modo que resultan válidas en todos los mundos posibles.

Podemos enfrentarnos ahora con un espinoso problema. Por un lado, hemos estado admitiendo una versión restringida del principio empirista, a saber: que cualquiera que sea el origen y la referencia de las hipótesis científicas, *tiene que contrastarlas la experiencia*. Por otra parte, hemos convenido en considerar hipótesis en sentido propio ciertas fórmulas acerca de hechos *no experimentados* (cfr. Secc. 5.1). ¿Cómo puede la experiencia contrastar lo que afirman nuestras hipótesis si éstas no dicen nada acerca de la experiencia? ¿No hemos incurrido en contradicción? He aquí la respuesta: hablando estrictamente, la experiencia no puede poner a prueba más que cosas (por ejemplo, automóviles) y proposiciones empíricas (descriptivas), por ejemplo "Llueve". Pero la experiencia no puede someter a contrastación fórmulas interpretativas, o sea, hipótesis. Cuando decimos que la experiencia tiene que suministrar la contrastación de las hipótesis de hecho, queremos decir que en última instancia se utilizan *informes* acerca de la experiencia (o sea, conjuntos de ciertas proposiciones que aspiran a describir la experiencia) para apoyar o destruir determinadas hipótesis. Dicho de otro modo: hablando estrictamente no hay hipótesis científica que se haya sometido jamás a contrastación por la experiencia. Lo único contrastable son ciertas "traducciones" de las consecuencias de nivel más bajo que tienen las hipótesis científicas, a saber, sus traducciones al lenguaje de la experiencia.

Ahora bien: esa traducción de enunciados teóricos por enunciados empíricos no es un asunto puramente lingüístico: consiste en establecer ciertas correspondencias entre objetos conceptuales (por ejemplo, "puntos de masa") y objetos empíricos (por ejemplo, objetos pequeños). Estrictamente hablando, todo enunciado acerca de puntos de masa que encontremos en la mecánica es empíricamente incontrastable, por la sencilla razón de que en la realidad no hay puntos de masa: lo que podemos observar en la realidad son cuerpos de aspecto pequeño y que pueden considerarse como realizaciones o modelos concretos de los puntos de masa. Esos modelos concretos son en algunos casos piezas de maquinaria, en otros casos son estrellas, pero en cualquier caso nuestras hipótesis los caricaturizan en vez de retratarlos. Es decir: sometemos a contrastación ciertas proposiciones referentes a esos objetos empíricos, y luego comparamos esas proposiciones con las teóricas. En resumen, el enunciado tópico de que la experiencia somete a contrastación las hipótesis y las teorías es elíptico: las proposiciones que contienen conceptos teóricos no-observacionales no implican enunciados empíricos. Lo que hacemos es construir ciertos modelos empíricos que pueden compararse más o menos precisamente con algunos enun-

ciados teóricos de nivel bajo. Por eso no diremos que una hipótesis h implica su evidencia, e , sino más bien que h implica una consecuencia contrastable, c , la cual, adecuadamente traducida, puede compararse con la evidencia e .

En resolución: los requisitos que tiene que satisfacer una conjetura para que se la considere una hipótesis científica son los siguientes: (i) tiene que ser bien formada, autoconsistente, y tener fuerza lógica máxima respecto de las evidencias empíricas que son relevantes para ella; (ii) tiene que ser compatible con el núcleo de conocimiento relevante disponible; y (iii) junto con otras fórmulas, tiene que implicar consecuencias traducibles a proposiciones de observación.

Ahora atenderemos a las funciones de la hipótesis en la ciencia.

PROBLEMAS

5.7.1. Discutir la argumentación de Popper, según la cual la confirmación no tiene valor alguno porque puede construirse cualquier número de hipótesis (o de teorías, según los casos) para dar razón de un mismo conjunto de datos empíricos. ¿Se sostiene esa argumentación si se añade a la exigencia de contrastabilidad empírica el requisito de fundamentación?

5.7.2. ¿Basta una excepción para destruir una hipótesis universal que esté por lo demás bien fundamentada? Indicación: considerar los casos de (i) observaciones rechazadas por motivos teóricos, y (ii) generalizaciones empíricas con excepciones que pueden ser finalmente explicadas por alguna teoría (por ejemplo, la ley de Dulong y Petit).

5.7.3. ¿Es la fuerza una condición necesaria, suficiente o necesaria y suficiente del contenido informativo?

5.7.4. Examinar la tesis de Popper según la cual la probabilidad de cualquier enunciado es tanto mayor cuanto menos dice el enunciado, y de que, según eso, debemos buscar hipótesis muy improbables, en vez de las más probables. Empezar por aclarar qué interpretación de la probabilidad tiene presente Popper. Cfr., por ejemplo, su obra *Conjectures and Refutations*, New York, Basic Books, 1963, Addenda.

5.7.5. Examinar las siguientes propuestas de cuantificación del concepto de fuerza lógica o contenido lógico basándose en la probabilidad. (i) $C(h) = 1 - P(h)$ (K. R. Popper); (ii) $C(h) = -\log_2 P(h)$ (J. G. Kemeny). Cfr. POPPER, obra citada en el problema anterior, y J. G. KEMENY, "A logical Measure Function", *Journal of Symbolic Logic*, 18, 289, 1953.

5.7.6. De entre dos hipótesis rivales se preferirá generalmente la más general, siempre que ambas sean compatibles con los mismos datos, aunque no sea sino porque la conjetura más general implica un conjunto de consecuencias más variadas y es, por tanto, susceptible de contrastación más rica que la hipótesis menos general. Ahora bien, la menos general implica la más general; así, por ejemplo $(y = \text{constante}) \rightarrow [y = f(x)]$, y no a la inversa. Discutir este punto en relación con la cuestión de la fuerza de las hipótesis.

5.7.7. ¿Habríamos aconsejado como científicos la hipótesis de la generación espontánea antes de la época de Pasteur? Tómense en consideración las siguientes versiones de la hipótesis: (i) "Los seres vivos se forman a partir de materia inorgánica en un breve lapso de tiempo (por ejemplo, las ranas a partir del barro)". (ii) "Los primeros antepasados de los seres vivos actuales se desarrollaron a partir de complejos sistemas no vivos a través de un largo proceso". *Problema en lugar de éste*: ¿Qué es lo malo —si algo malo tienen— de las ideas "a medio cocer" que se encuentran en I. J. Good, ed., *The Scientist Speculates*, London, Heinemann, 1962?

5.7.8. ¿Someteremos a contrastación hipótesis totalmente aisladas? Indicación: formular una hipótesis sencilla y observar si en el proceso de su contrastación no hay que hacer uso de otras hipótesis. *Problema en lugar de éste*: Examinar la doctrina de la verificabilidad, según la cual el significado de una proposición consiste en el método de su verificación y, por tanto, una proposición tiene sentido en la medida en que sea verificable. Cfr. H. REICHENBACH, *Elements of Symbolic Logic*, New York, Macmillan, 1947, pág. 7. Indicación: Discutir una hipótesis que sea manifestamente incontrastable, pero significativa en el contexto en que se presente, como la hipótesis de la reencarnación.

5.7.9. Los enemigos de la teorización rechazan las teorías de C. L. Hull y sus seguidores sobre el aprendizaje, declarando que esas teorías están demasiado altas en la escala de la abstracción, o sea, demasiado lejos de la experiencia, porque contienen conceptos no-observacionales. Argúyese una crítica basada en las razones contrarias, a saber, que las hipótesis básicas de esas teorías no son suficientemente fuertes, que tendrían que presentarse como soluciones de ecuaciones aún más básicas relativas a la dinámica, más que a la cinemática, del comportamiento.

5.7.10. Discutir la regla siguiente: "La hipótesis que hay que contrastar no debe pertenecer al cuerpo de fórmulas supuesto en el planeamiento y la interpretación de la contrastación, porque si pertenece a él se aumenta la probabilidad de que la hipótesis sea compatible con la evidencia, hasta el punto tal vez de hacer superflua la contrastación". Es claro que esa regla es lógicamente sana, puesto que tiende a evitar círculos viciosos. Pero ¿es viable? *Problema en lugar de éste*: El descubrimiento de un cuervo rojo refutaría la conocida afirmación universal acerca de esos animales; sería imposible contar el cuervo rojo como mero error experimental. ¿Significa eso que las hipótesis cualitativas —que son, como es natural, más débiles que las cuantitativas— son más refutables que éstas?

5.8. Funciones

Las hipótesis van más allá de la experiencia, y, por lo tanto, no pueden tener certeza. ¿Por qué las construimos, si no estamos seguros, ni podemos estarlo, de que sean verdaderas? ¿No podríamos aferrarnos a los hechos y prescindir de hipótesis? Los infalibilistas, esto es, los que creen en el conocimiento indubitable y lo buscan, han desconfiado siempre de las hipótesis y han propuesto que no se las considere, en el mejor de los casos, sino

como expedientes temporales y puramente instrumentales y heurísticos. En su lugar han propuesto la fe en una de las siguientes variedades de conocimiento supuestamente indestructible: (i) las proposiciones empíricas singulares y, a lo sumo, inducciones basadas en ellas (empirismo); (ii) proposiciones deducidas de los "principios eternos de la razón humana" (racionalismo); (iii) proposiciones derivadas mediante intelección inmediata, total e infalible (intuicionismo).

Desgraciadamente para el infalibilismo, la experiencia no es segura ni, por encima de todo, se explica a sí misma, sino que es un objeto de la explicación científica; la razón no es invariable en el tiempo y, aunque organiza y elabora el conocimiento empírico, no puede suministrar información empírica; y la intuición es nebulosa y poco digna de confianza. No podemos evitar el formular hipótesis en la vida cotidiana, en el trabajo, en la tecnología, en la ciencia, en la filosofía y hasta en el arte. Construimos hipótesis en la medida en la cual pensamos y obramos racionalmente y con eficacia. Por tanto, en vez de intentar evitar hipótesis lo que tenemos que intentar es controlarlas.

Las hipótesis se presentan en todos los pasos de la investigación, tanto en la ciencia pura cuanto en la aplicada, pero son particularmente visibles en las ocasiones siguientes: (i) cuando intentamos resumir y generalizar los resultados de nuestras observaciones; (ii) cuando intentamos interpretar anteriores generalizaciones; (iii) cuando intentamos justificar (fundamentar) nuestras opiniones; y (iv) cuando planeamos un experimento o el curso de una acción para obtener más datos o para someter una conjetura a contrastación. El conocimiento científico es en tal medida hipotético que algunos investigadores no llegan a darse plenamente cuenta de ello (igual que el pez no se da cuenta de que está inmerso en el agua) y piensan que puede haber una pieza autocontenida de investigación que no presuponga ni contenga hipótesis. Pero esto es un error: la investigación consiste en tratar problemas y, como hemos visto en la Secc. 4.2, todo problema (i) se plantea en el seno de un cuerpo de conocimiento que contiene hipótesis, y (ii) se produce por un esquema (el generador del problema) que, una vez rellenado, se convierte en un dato o en una hipótesis. Cuando formulamos la pregunta individual "¿Cuál es el x tal que x tiene la propiedad A ?" —o sea, $(\exists x)A(x)$, presuponemos que existe al menos un x que tiene la propiedad A , y afirmamos tácitamente el esquema $A(x)$, que es el generador de nuestro problema; la solución a este último consistirá en rellenar el hueco ' x ', o sea, en convertir el generador en un dato o en una hipótesis, según el caso. Análogamente, cuando planteamos la pregunta funcional "¿Cuáles son las propiedades del individuo c ?", o sea, $(\forall P)P(c)$, introducimos el esquema $P(c)$, el cual, una vez atribuido un valor determinado a la incógnita P , se convierte en un dato o en una hipótesis. En cualquier caso, el generador de un problema es un esquema o función proposicional, y la solución al mismo es un enunciado que es un dato o una hipótesis,

según que rebase la experiencia disponible y sea corregible o carezca de esos dos rasgos. El diagrama que representa el flujo de la investigación puede por tanto dibujarse así:



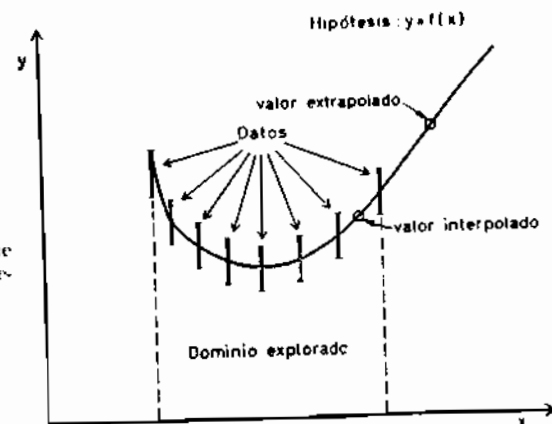
Si se eliminan las hipótesis, no quedan más que datos de un tipo relativamente desprovisto de interés, superficiales, aislados, sin explicar, así como problemas de escasa entidad, suscitados por los esquemas de datos.

Estas son las principales funciones de las hipótesis en la ciencia:

1. *La generalización de la experiencia*: resumen y ampliación de los datos empíricos disponibles. Una subclase importante de este género de hipótesis es la generalización, para una población entera, de "conclusiones" (hipótesis) "sacadas" de muestras particulares, como las que hacen los agrónomos a propósito de los efectos de los fertilizantes sobre la cosecha de una especie dada. Otro miembro importante de esa misma clase es la llamada *curva empírica*, o sea, la línea continua que se obtiene uniendo un conjunto de puntos de un mismo plano, cada uno de los cuales representa un dato empírico. (Por regla general, los datos cuantitativos adolecen de errores, de tal modo que se representan por segmentos, o hasta por paralelogramos, en vez de hacerlo con puntos. Además, las curvas empíricas no se hacen pasar precisamente por los "puntos", sino cerca de ellos.) La ampliación más allá del conjunto de los datos puede conseguirse en este caso por *interpolación* (suposición de valores intermedios entre los observados) o por *extrapolación* (suposición de valores más allá del ámbito explorado, como se hace en las predicciones). En la Fig. 5.6 se muestra una de las innumerables hipótesis (curvas continuas) que recogen un conjunto de datos imaginarios: es una curva continua que representa una función continua $y = f(x)$; la curva pasa cerca de los centros de los segmentos que representan los datos. Obsérvese que una curva empírica (o la función correspondiente) no es un resumen de datos, ya por el hecho (i) de que la curva consta de un conjunto infinito de puntos, mientras que los datos se dan siempre en número finito, y de que (ii) sobre la base de la hipótesis (curva) podemos anticipar experiencia en dominios por el momento inexplorados.

2. *Desencadenadoras de la inferencia*: afirmaciones o conjeturas iniciales, hipótesis a título de ensayo, hipótesis de trabajo o suposiciones simplificadoras que sirven como premisas de un argumento aunque se sospeche su falsedad. Ejemplos: (i) en una demostración indirecta probamos con la negación, $\neg t$, de la tesis del teorema " $h \rightarrow t$ " que queremos demostrar, y averiguamos si esa conjetura lleva a contradicción; (ii) también es hipotético el valor inicial supuesto en el cálculo de una función por el método de aproximaciones sucesivas, o en la medición de una magnitud; (iii) una

Fig. 5.6. Una "curva empírica" que recoge un conjunto de datos y representa la relación hipotética $y = f(x)$.



suposición groseramente simplificadora que haga posible la aplicación de una teoría, como, por ejemplo, la suposición de que la Tierra es plana o perfectamente esférica en una determinada región. Cuando se sabe que son propiamente falsas, esas hipótesis se llaman *ficciones*. Ninguna teoría cuantitativa puede desarrollarse sin la ayuda de tales simplificaciones.

3. *Guías de la investigación*: ocurrencias exploratorias, o sea, conjeturas más o menos razonables (fundadas) que son a la vez objeto y guía de la investigación. Abarcan desde las hipótesis de trabajo formuladas con precisión hasta las vagas conjeturas de carácter programático. Ejemplos. "Las partículas eléctricamente neutras están compuestas por pares de partículas de cargas opuestas", "Los procesos mentales son procesos fisiológicos del cerebro", "Pueden sintetizarse los seres vivos reproduciendo las condiciones físicas que reinaban en nuestro planeta hace dos billones de años".

4. *Interpretación*: hipótesis explicativas, o conjeturas que suministran una interpretación de un conjunto de datos o de otra hipótesis. Las hipótesis representacionales son todas interpretativas, puesto que nos permiten interpretar los datos —no meramente generalizarlos— sobre la base de conceptos teóricos. En cambio, las hipótesis fenomenológicas son del tipo generalizador. Por ejemplo, las hipótesis del campo electromagnético (organizadas en una teoría) explican el comportamiento de los cuerpos perceptibles de una determinada clase.

5. *Protección de otras hipótesis*: conjeturas *ad hoc* cuya única inicial función es proteger o salvar otras hipótesis de contradicción con teorías aceptadas o de refutación por datos disponibles. Por ejemplo, W. Harvey (1628) formuló la hipótesis de la circulación de la sangre, que no es un proceso observable, y no tuvo en cuenta la diferencia entre la sangre arterial y la venosa; para salvar su hipótesis introdujo otra *ad hoc*, a saber, que el circuito arteria-vena queda cerrado por vasos capilares invisibles; estos vasos se descubrieron efectivamente después.

Atendamos a las curvas empíricas (incluidas entre las hipótesis del tipo 1) y a las hipótesis *ad hoc*, puesto que parecen ser las peor entendidas. Cuando un científico traza una curva que pasa cerca de un conjunto de puntos (más frecuentemente, de segmentos) empíricamente hallados, o cuando aplica una fórmula de interpolación para construir un polinomio que representa esa curva, puede no darse cuenta del salto que está dando y del riesgo que está asumiendo. En realidad, está apostando a que el próximo valor que se observe va a caer muy cerca de la curva hipotética, lo cual puede perfectamente no ocurrir. El científico está adoptando el principio de continuidad, que es una hipótesis ontológica. La lógica por sí sola no le indica qué hipótesis debe preferir de entre la infinidad de curvas posibles, todas compatibles con el mismo acervo de datos (cfr. Fig. 5.7). Sin duda puede argüir que preferirá la hipótesis *más simple*, y, efectivamente, las fórmulas de interpolación se construyen de modo que den las expresiones formalmente más simples (polinomios del grado más bajo posible, que representen líneas lo menos onduladas que sea posible). Pero esta preferencia no tiene fundamento lógico ni empírico. Se puede intentar hacerla plausible mediante la postulación de la hipótesis ontológica de que la realidad es simple. Pero esta conjetura queda refutada por la historia de la ciencia, la cual muestra que el progreso es en gran medida el descubrimiento de complejidades por detrás de las apariencias simples. Hay sin duda razones para preferir la generalización empírica más simple que sea compatible con los datos y *siempre que no se disponga de ninguna teoría capaz de suministrar más sugerencias*; pero esas razones son de carácter metodológico.

Una razón para preferir la simplicidad formal (matemática, por ejemplo) en el caso de las generalizaciones empíricas es que nada garantiza que sea mejor aceptar un esquema más complejo: dicho de otra manera, sin más que la evidencia empírica, las hipótesis más complejas son *infundadas*, porque suponen demasiado. (Pero, como se verá pronto, esta situación puede alterarse radicalmente en cuanto se dispone de consideraciones teóricas.) Otra razón es que, en la medida de lo posible, hay que evitar en la ciencia las hipótesis irrefutables; ahora bien, cuanto más ondulada es una curva empírica, tanto más próxima quedará de cualquier dato futuro, o sea, tanto menos aprenderá de la experiencia, puesto que desde el primer momento anticipa toda la posible (cfr. Fig. 5.8). Dicho de otro modo: las curvas empíricas más complejas serán menos susceptibles de refutación y

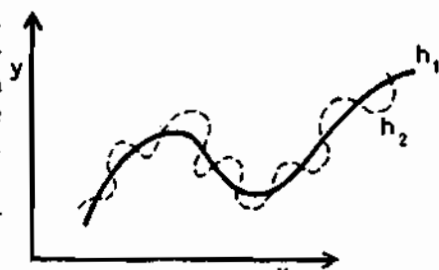
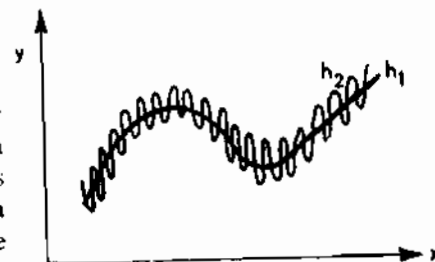


FIG. 5.7. Todo conjunto de datos es coherente con una infinidad de hipótesis recíprocamente incompatibles.

FIG. 5.8. La hipótesis más compleja (h_2) es la más segura y, por tanto, la menos deseable mientras no se disponga de más evidencia o de teoría.



más de confirmación por cualquier nueva evidencia, por anómala que ésta sea respecto de hipótesis más simples y arriesgadas. Los partidarios de la confirmación como prueba suprema de las hipótesis no se han dado cuenta

de este hecho; mas como lo que buscan es la confirmabilidad máxima, deberían predicar la complejidad máxima de las hipótesis, en vez de afirmar arbitrariamente (o sea, sin fundamento) el principio de simplicidad.

La argumentación basada en la simplicidad tiene mucha fuerza en el estadio preteórico, que es el único tenido en cuenta por los filósofos inductivistas. Pero en cuanto que se intenta incluir una generalización empírica en un cuerpo teórico, se impone el requisito, más potente, de compatibilidad con el resto del conocimiento. Tomemos, por ejemplo, la ley galileana semi-empírica de la caída libre, a saber, " $s = 5t^2$ ", en la cual ' s ' designa la altura (en metros) de un cuerpo que ha estado cayendo libremente durante t segundos. Esta ley puede considerarse como la más simple de entre las infinitas relaciones posibles entre valores observados, pero sólo es verdadera en la proximidad de la superficie terrestre, y contiene además el número "5", sobre el cual no da explicación alguna. La correspondiente ley teórica (no conocida por Galileo) es " $s = 1/2 gt^2$ ". Esta fórmula se deduce de los axiomas de Newton, y tiene un dominio de validez más amplio que el de la ley semi-empírica de Galileo, pues se aplica, dentro de ciertos límites, a todo campo gravitatorio homogéneo de intensidad g . La ley teórica no habría podido obtenerse por inducción, porque contiene un concepto teórico no-observacional, a saber, la "aceleración de la gravedad", designado por ' g ', el cual es una construcción que sólo tiene sentido en una teoría de la gravitación. También son ajenas a esta ley las consideraciones de simplicidad; dicho sea de paso, la ley tiene que complicarse considerablemente cuando se trata de campos muy intensos y de grandes velocidades. Así pues, ni la inducción ni la simplicidad han sido aquí la última palabra, sino que la ha pronunciado la continuidad con el núcleo del conocimiento teórico. La simplicidad no parece importante más que en los estadios tempranos y simples.

Consideremos ahora el problema de las construcciones *ad hoc*. Las conjeturas protectoras son las más tentadoras de todas las clases de hipótesis, pero también las más rehuidas por los pensadores honrados de todas las filiaciones filosóficas, con la excepción de los convencionalistas, los cuales piensan que todas las hipótesis son de la misma calidad y no pasan nunca de ser meros instrumentos útiles para la condensación y la elaboración de

los datos: como consecuencia de ese punto de vista, el convencionalista no siente repugnancia alguna cuando se trata de apoyar una ficción por medio de otra ficción. Hemos rechazado el convencionalismo por incoherente con el objetivo de la ciencia (la construcción de los modelos más veraces posibles de las cosas) y con el método de la ciencia (que supone la contrastación de los modelos hipotéticos desde el punto de vista de su verdad). Pero a pesar de rechazar el convencionalismo, afirmaremos que las hipótesis *ad hoc* son inevitables y bienvenidas en la ciencia en la medida en que contribuyen a enriquecer la fundamentación de hipótesis importantes y a asegurar su consistencia con otras hipótesis. Las hipótesis *ad hoc* son aceptables cuando protegen ideas importantes contra críticas *precipitadas* (como las basadas en la medición más reciente conseguida), mientras que son inadmisibles si impiden *toda* crítica. Lo que hay que exigir antes de admitir (temporalmente) una hipótesis protectora *ad hoc* es que sea *contrastable independientemente*, por sí misma. De acuerdo con lo que convinimos en 5.2 y 5.7, si una conjetura no es contrastable no es científica; una vez contrastada, una hipótesis protectora se convierte en una proposición falsa o en una hipótesis más o menos normal. Por tanto, no hay necesidad de imponer a las hipótesis científicas el ulterior requisito de no ser *ad hoc*: bastará la contrastabilidad para eliminar protectoras indeseables. Esta tesis quedará ilustrada por el análisis de unos pocos ejemplos.

La hipótesis de que los elementos atómicos pueden tener diferentes isótopos (o sea, subespecies físicamente diversas de especies químicamente homogéneas) se construyó inicialmente para salvar la hipótesis de que los átomos están compuestos por un número discreto de partículas. La hipótesis de los isótopos (F. Soddy, 1913) salvó efectivamente la teoría atómica, amenazada por el descubrimiento de que la mayoría de los pesos atómicos no son múltiplos enteros exactos de una unidad básica: esta anomalía se explicó diciendo que las muestras naturales de elementos químicos podían ser mezclas de varios isótopos, de tal modo que el peso atómico medido era una media de los pesos atómicos de los varios isótopos presentes en las muestras. Esta hipótesis protectora quedó luego confirmada independientemente: se separaron, efectivamente, y se pesaron los isótopos de cierto número de elementos con la ayuda del espectrómetro de masa (F. W. Aston, 1919), un expediente inventado para someter a contrastación la hipótesis de los isótopos. Así pues, el carácter *ad hoc* de la hipótesis de los isótopos ha sido simplemente un trivial e irrelevante accidente de su nacimiento.

*No siempre está claro si va a ser contrastable la hipótesis introducida para proteger a otra o a una entera teoría: en última instancia, la contrastabilidad no es intrínseca a la hipótesis, sino relativa a los medios (teorías y técnicas empíricas) disponibles en un momento dado. Tal fue el caso de la hipótesis de la contracción, la hipótesis según la cual todos los cuerpos se contraen en la dirección de su movimiento. Con esta hipótesis intentaron G. F. Fitzgerald y H. A. Lorentz salvar la mecánica clásica de las

destructoras "conclusiones" que en otro caso se derivarían del experimento de Michelson-Morley. Frecuentemente se lee que hubo que rechazar la hipótesis de la contracción porque no es independientemente contrastable, puesto que afirma explícitamente que la contracción de que habla es absoluta o, como también puede decirse, relativa al (inexistente) éter inmóvil. Pero la hipótesis de la contracción fue en última instancia sometida a contrastación; lo que pasa es que costó bastante tiempo conseguir sus consecuencias medibles y comprender que *presuponía* supuestos incontrastables, como la existencia del espacio absoluto. Una de las consecuencias contrastables de la hipótesis de la contracción es que, como la resistencia eléctrica de un hilo es proporcional a su longitud, si la contracción fuera real, la resistencia disminuiría durante el movimiento: Trouton y Rankine refutaron esa consecuencia en 1908. Otra consecuencia contrastable es que, como las frecuencias de las vibraciones propias de un cubo dependen de su arista, tendrían que cambiar con el movimiento, cosa que también resultó falsa (Wood, Tomlison y Essex, 1937).

La hipótesis de la contracción fue rechazada o, más propiamente, reinterpretada por Einstein, no porque fuera una hipótesis protectora, sino porque presupone el supuesto incontrastable de un espacio absoluto y, consiguientemente, de un movimiento absoluto. Si no hubiera sido por eso y por la falsedad factual, los físicos habrían acogido la hipótesis de la contracción como salvadora de algo que valía la pena salvar, a saber, la mecánica clásica. Cuando una gran teoría que ha prestado grandes servicios se encuentra en peligro por el descubrimiento de una excepción, se produce el impulso primario y legítimo a intentar salvarla mediante alguna hipótesis *ad hoc* menos valiosa, pero contrastable.*

La tendencia a construir hipótesis protectoras es psicológicamente comprensible: por una parte, ya normalmente nos resistimos a admitir cambios en nuestro sistema de creencias; y, por otro lado, la hipótesis inescrutable tiene la ventaja —desde el punto de vista de la conservación de las creencias— de que no puede ser puesta a prueba independientemente, de tal modo que no sólo suministra protección sino que, además, es ella misma inmune a cualquier ataque de la experiencia. Así ocurre, por ejemplo, con la pretensión de los espiritistas según la cual todo fallo en la percepción de señales mentales en el orden correcto se debe a la facultad precognitiva del sujeto: de este modo toda evidencia desfavorable a la hipótesis de la telepatía queda recogida como confirmación de la hipótesis de la precognición. Análogamente, según el psicoanálisis hay ciertas experiencias infantiles que producen agresividad; pero cuando se encuentra un caso de comportamiento temeroso cuando según la doctrina tendría que ser agresivo, el hallazgo no se cuenta como contraejemplo, sino que se introduce la hipótesis *ad hoc* de que el sujeto ha construido una reacción contra su tendencia natural. De este modo es imposible que se presenten evidencias desfavorables, y el inocente queda convencido por un *gang* de cómplices

que no quedan nunca al descubierto porque se facilitan unos a otros la cortada. Conclusión práctica: aunque las teorías científicas se someten a contrastación en su conjunto, porque la mayoría de sus consecuencias contrastables se derivan de cierto número de sus supuestos básicos, en cambio las conjeturas *ad hoc* que haya entre esos supuestos tienen que ser contrastables independientemente.

Vamos a terminar este punto. Tenemos que admitir con el infalibilista que toda hipótesis supone un riesgo. Por otro lado, el aceptar tales riesgos es todo lo que podemos hacer en el terreno de la ciencia, pues la investigación científica es esencialmente un tratamiento de problemas que exigen la concepción, la elaboración y la contrastación de hipótesis. Además, cuanto más arriesgadas son las hipótesis, tanto mejores son (dentro de ciertos límites), porque dicen más y, consiguientemente, son más sensibles a la experiencia. Hay, sin duda, algunas hipótesis peligrosas que deben evitarse; las limitaciones a priori (o sea, sin fundamento) de la inteligencia humana, las conjeturas ingenuas que no tienen más argumento en su favor que su simplicidad (conjeturas "naturales", "obvias", "intuitivas"), las conjeturas sofisticadas que no pueden comprobarse con la ayuda de la experiencia, y las hipótesis *ad hoc* que se resisten a una contrastación independiente. Pero los requisitos simultáneos de *fundamentación y contrastabilidad* eliminarán todo exceso de este tipo. La cuestión no es minimizar las hipótesis, sino maximalizar su control, porque los seres racionales se enfrentan con la experiencia, la multiplican y trascienden mediante la invención de hipótesis. La divisa no es *Tener la mente vacía*, sino *Tener la mente abierta*.

En la Sección siguiente mostraremos que al embarcarnos en una investigación científica no llevamos con nosotros simplemente un cuerpo de hipótesis factuales y de datos, sino también un haz de hipótesis filosóficas.

PROBLEMAS

5.8.1. Examinar las siguientes opiniones acerca de las hipótesis. (i) SEXTO EMPÍRICO, *Against the Professors* [Adversus Mathematicos] III, 9-10, en *Works*, trad. inglesa de R. G. Bury, Cambridge, Mass., Loeb Classical Library, 1949, IV, pág. 249: "... si la cosa es verdadera, no la postulamos como si no lo fuera. Y si no es verdadera, sino falsa, la hipótesis no será de ninguna ayuda..." Indicación: ¿Vale esa objeción en el marco de una epistemología que no admita ni la verdad factual completa ni la certeza completa a su respecto? (ii) F. BACON, *Novum Organum*, Aphorism I, en *Philosophical Works*, ed. J. M. Robertson, London, Routledge, 1905, pág. 259: «El hombre, por ser siervo e intérprete de la naturaleza, puede hacer y entender todo y sólo lo que ha observado de hecho o en el pensamiento en el curso de la naturaleza: más allá de eso no conoce ni puede hacer nada. La tarea no es, consiguientemente, hacer "anticipaciones de la naturaleza" (hipótesis), sino "interpretaciones de la naturaleza" (inducciones).» Este último procedimiento, según el Aphorism XIX, "deriva axio-

mas de los sentidos y de lo particular, subiendo mediante un ascenso gradual y continuo, hasta llegar al final a los axiomas más generales. Esta es la vía verdadera, que no ha sido recorrida hasta ahora". Indicación: averiguar si es lógicamente posible subir de las fórmulas más débiles hasta las más fuertes. (iii) J. TOLAND, *Christianity not Mysteriorious*, London, 1702, pág. 15: "... como la probabilidad no es conocimiento, destierro toda hipótesis de mi filosofía; pues por muchas que admita, no por eso aumentará mi conocimiento en una iota: porque al no aparecer entre mis Ideas ninguna Conexión evidente, es posible que tome como verdadera la parte falsa de la Cuestión, lo cual es lo mismo que no saber nada de la Materia. Cuando consigo el Conocimiento, gozo de toda la Satisfacción que le acompaña; cuando sólo tengo Probabilidad, suspendo el Juicio o, si vale la pena el Esfuerzo, busco la Certeza."

5.8.2. Examinar los enunciados siguientes: (i) L. PASTEUR, en R. Dubos, *Louis Pasteur*, Boston, Little, Brown and Co., 1950, pág. 376: "Las ideas preconcebidas son como faros que iluminan el camino del experimentador y le sirven como guías para interrogar la naturaleza. Sólo se convierten en un peligro si las transforma en ideas fijas, razón por la cual querría ver inscritas en todos los templos de la ciencia las siguientes profundas palabras: 'La mayor perturbación de la mente consiste en creer en algo porque uno desea que sea así'". (ii) T. H. HUXLEY, *Hume*, London, Macmillan, 1894, pág. 65: "Toda ciencia parte de hipótesis; dicho con otras palabras, de supuestos no probados y que pueden ser, y son frecuentemente, erróneos, pero son algo mejor que nada para el que busca un orden en la plétora de los fenómenos. Y el proceso histórico de toda ciencia depende de la crítica de las hipótesis —su eliminación gradual, esto es, la de sus partes falsas o superfluas— hasta que no queda más que la exacta expresión verbal de lo que sabemos del hecho, y no más, lo cual constituye la perfecta teoría científica". (iii) M. SCHLICK, *Sur le fondement de la connaissance*, Paris, Hermann, 1935, pág. 33: "Todas las proposiciones de la ciencia, todas sin excepción, resultan hipótesis cuando se examina su valor, esto es, su valor veritativo". En cambio, los enunciados puramente empíricos (enunciados de protocolo) son ciertos, pero no son proposiciones que pertenezcan a la ciencia, ni se entienden a menos que se los ilustre con gestos. Así, por ejemplo, 'Aquí y ahora dos líneas amarillas' no es una sentencia científica. En cambio, 'El sodio presenta una línea doble en la parte amarilla de su espectro' es una genuina sentencia científica (pág. 47).

5.8.3. Comentar la observación de Darwin de que "toda observación tiene que ser en favor o en contra de alguna opinión, si es que ha de servir para algo". *Problema en lugar de ése*: Discutir la naturaleza "del" principio de simplicidad y su papel en la ciencia. En particular, examinar si es un principio en sentido propio o puede derivarse de supuestos más fuertes, y si supone un compromiso ontológico.

5.8.4. Los conductistas radicales no tienen confianza en las hipótesis y propugnan experimentos que no tienden a someter hipótesis a contrastación, sino a dar respuesta a preguntas del tipo "Me pregunto qué ocurrirá si...", porque tales experimentos no producen nunca resultados negativos, mientras que otros experimentos pueden darlos, o sea, pueden dar lugar a la refutación de una hipótesis, cosa que consideran destructiva. Cfr. M. SIDMAN, *Tactics of Scientific*

Research, New York, Basic Books, 1960, o A. J. BACHARACH, *Psychological Research*, New York, Random House, 1962. Aparte de que el conductismo ha sido teóricamente estéril, ¿es verdad que no contiene ni presupone hipótesis?

5.8.5. ¿Son estrictamente empíricas las curvas así llamadas? ¿Y son esos gráficos propiamente hipótesis o más bien símbolos no-verbales (geométricos) de hipótesis? *Problema en lugar de ése*: Determinar si la proposición "El 87 % de los grandes industriales y comerciantes de los Estados Unidos son conservadores" es una hipótesis y, si lo es, de qué género.

5.8.6. Para fines de matematización, la población puede considerarse como una variable continua. ¿Qué tipo de suposición es ése?

5.8.7. De acuerdo con W. D. Matthew, todos los animales terrestres se originaron en la región holártica (Norteamérica, Europa, norte de Asia, norte de África y Ártico). No se puede sostener esta hipótesis más que arguyendo, además, que existieron en el pasado puentes trasatlánticos y traspacíficos hoy sumergidos, aunque la geología no suministra evidencia alguna en favor de esta hipótesis. Discutir este caso. *Problema en lugar de ése*: Examinar la siguiente argumentación de B. RUSSELL, en *Human Knowledge*, London, Allen and Unwin, 1948, pág. 343, en favor de la exigencia de características no-empíricas —como la simplicidad y la continuidad— en las hipótesis: "Supongamos que fuéramos a establecer 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". ¿Satisface la conjetura de las mesas-canguros la condición de fundamentación? ¿E implica consecuencias contrastables diferentes de la hipótesis de las mesas-mesas?

5.8.8. H. BONDI y T. GOLD (1948) postularon (i) que el universo en conjunto es en todas partes y siempre el mismo ("Principio Cosmológico Perfecto") y (ii) que las galaxias están constantemente separándose unas de otras (expansión del universo). Esos dos postulados son recíprocamente incompatibles (puesto que la expansión lleva a la rarefacción de la materia, lo cual contradice la hipótesis de la homogeneidad total), a menos que se añada la hipótesis de que constantemente se crea materia de la nada y exactamente con la tasa necesaria para compensar la expansión del universo. Examinar esta última hipótesis desde el punto de vista de su fundamentación y desde el de su contrastabilidad. Cfr. M. BUNGE, "Cosmology and Magic", *The Monist*, 44, 116, 1962.

5.8.9. J. C. Maxwell (1864) postuló que toda corriente eléctrica es cerrada, lo cual quedaba aparentemente refutado por la existencia de condensadores. Para salvar su hipótesis básica supuso que la corriente variable no termina en las láminas del condensador, sino que se propaga por el cuerpo dieléctrico (o en el vacío) como "corriente de desplazamiento". Esta hipótesis fue severamente criticada por motivos metodológicos, pues introducía un inobservable y era *ad hoc*. La hipótesis fue confirmada independientemente por H. Hertz (1885) después de la muerte de Maxwell. Discutir el caso. *Problema en lugar de ése*: Discutir cualquier otro caso de hipótesis *ad hoc*.

5.8.10. Según E. MACH, *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872, trad. inglesa, Chicago, Open Court, 1911, pág. 49, "en la investigación de la naturaleza no debemos ocuparnos más que del conocimiento de la conexión de las apariencias unas con otras. Lo que nos representamos

más allá de las apariencias existe sólo en nuestra comprensión, y no tiene para nosotros más que el valor de una técnica memorística o fórmula, cuya forma, por ser arbitraria e irrelevante, varía muy fácilmente con el punto de vista de nuestra cultura". Si eso es verdad, la ciencia abunda en hipótesis incontrastables que, por serlo, no tendrán nada que permita una elección entre ellas. Por otra parte, en el fenomenismo de Mach hay un núcleo racional, a saber, la eliminación de supuestos insusceptibles de contrastación. Discutir la paradoja. *Problema en lugar de ése*: En la Secc. 5.7. se afirmó que ninguna hipótesis se somete a contrastación aislada de otras hipótesis, y en la presente sección se ha afirmado que hay que exigir la contrastabilidad independiente de las hipótesis *ad hoc*. Discutir esta aparente contradicción.

5.9. Hipótesis Filosóficas en la Ciencia

El conocimiento científico no contiene supuestos filosóficos. De esto se infiere frecuentemente que la investigación científica no tiene ni presupuestos filosóficos ni alcance filosófico, y que, por tanto, la ciencia y la filosofía serían compartimentos impermeables. Pero esa es una conclusión precipitada. Tal vez no se encuentre la filosofía en los edificios científicos terminados (aunque incluso esto es discutible), pero en todo caso es sin duda parte del andamiaje utilizado en su construcción. Y, a la inversa, la filosofía puede y debe construirse con el método de la ciencia y sobre la base de los logros y los fracasos de la investigación científica (cfr. Secc. 4.7). No podemos argüir aquí ese último punto: lo que nos va a ocupar aquí es sustanciar la tesis de que la investigación científica *presupone y controla* ciertas importantes hipótesis filosóficas. Entre ellas destacan las siguientes: la realidad del mundo externo, la estructura de muchos niveles que tiene la realidad, el determinismo en un sentido amplio, la cognoscibilidad del mundo y la autonomía de la lógica y de la matemática.

1. *Realismo: La Realidad del Mundo Externo*. Algunos filósofos sostienen que la ciencia factual no presupone, emplea ni confirma la hipótesis filosófica de que existen objetos reales, o sea, de que hay algo que existe independientemente del sujeto conocedor. Pero eso es un error. En primer lugar, la mera noción de verdad factual, o adecuación de una proposición a un hecho, contiene la noción de hecho objetivo; sólo la verdad formal, por ser una propiedad sintáctica, es independiente de los hechos, y por eso puede ser completa y, consiguientemente, definitiva. En segundo lugar, cuando se construye una hipótesis factual para cubrir un conjunto de hechos, se presume que los hechos son reales (actuales o posibles); no se pierde tiempo en la ciencia en dar razón de hechos inexistentes. En tercer lugar, ya las contrastaciones en búsqueda de la verdad factual de una hipótesis presuponen que hay algo fuera del mundo interno del sujeto y que concordará en alguna medida con la proposición en cuestión o discrepará de ella. Si ese algo dependiera enteramente del sujeto, no hablaría-

mos de contrastaciones objetivas ni de verdad objetiva. En cuarto lugar, todo procedimiento empírico de la ciencia empieza por establecer una línea de separación entre el sujeto investigador y su objeto: si no se traza esa línea y cualquier otro operador puede tener acceso al mismo objeto, el procedimiento no debe ser aceptable para los científicos. En quinto lugar, la ciencia natural, a diferencia de concepciones pre-científicas como el animismo y el antropomorfismo, no da cuenta de la naturaleza usando los términos apropiados para atributos típicamente humanos, como haría si la naturaleza dependiera de algún modo del sujeto. Así, por ejemplo, no damos razón del comportamiento de un objeto basándonos en nuestras expectativas ni en otras variables subjetivas, sino que, por el contrario, basamos nuestras expectativas racionales en las propiedades objetivamente averiguables del objeto tal como nos es conocido. En sexto lugar, no habría necesidad de experimentar ni de teorizar acerca del mundo si éste no existiera por sí mismo; una teoría factual refiere a algo que no es el sujeto (aunque puede ser una persona considerada como objeto) y la contrastación empírica de la teoría supone la manipulación y hasta a veces la modificación (mediante el experimento) del correlato de la teoría. En séptimo lugar, la ciencia factual contiene reglas de interpretación que presuponen la existencia real de los correlatos. Así, por ejemplo, la regla semántica "Z" designa el número atómico de un elemento" no se inventa por gusto ni para correlatar determinadas percepciones, sino que se supone que establece una relación entre el signo 'Z' y una propiedad física objetiva (aunque no-observable), a saber, el número de electrones que hay en un átomo. En octavo lugar, no sería necesaria ninguna corrección sucesiva de las teorías factuales si fueran meras construcciones convencionales que no intentaran reflejar la realidad de un modo simbólico. Si creyéramos menos en la existencia de los átomos que en nuestras teorías atómicas, no estaríamos dispuestos a corregir estas últimas en cuanto que presentan sus defectos, sino que abandonaríamos la hipótesis de la existencia de los átomos. En noveno lugar, los axiomas de una teoría factual son enunciados afirmativos más que negativos, no sólo porque las proposiciones negativas son más bien indeterminadas y, por lo tanto, poco fecundas, sino también porque una proposición afirmativa sugiere la búsqueda de alguna entidad o propiedad existentes, puesto que sólo la existencia de ese correlato puede hacer verdadera aquella proposición; en cambio, las proposiciones negativas son verdaderas si no existe nada que las false. En décimo lugar, los enunciados legaliformes presuponen la existencia objetiva de los objetos a cuyas propiedades se refieren; pues en otro caso su verdad sería vacía. En resolución: la ciencia factual no *prueba* la existencia del mundo externo, sino que *presupone* sin duda ninguna esa hipótesis filosófica. Los que quieran refutar esa hipótesis tendrán pues que prescindir de la ciencia.

*Pese a ello se dice a menudo que la contemporánea física atómica y nuclear pone en tela de juicio o hasta refuta la hipótesis de la realidad

del mundo externo; y hay autores que dan, ciertamente, esa impresión. Pero un examen semántico de los enunciados fundamentales de la teoría de los quanta muestra que esos enunciados caen en una de las clases siguientes: (i) enunciados referentes a objetos autónomos no perturbados por medición, como un átomo en estado estacionario (o sea, que no absorbe ni irradia energía) o un fotón que viaja por un espacio vacío, en el cual ningún dispositivo puede detectarlo absorbiéndolo; (ii) enunciados referentes a objetos en observación, medición o, en general, interacción con sistemas macroscópicos, como un haz de electrones que atraviesa un sistema de ranuras; (iii) enunciados referentes a resultados (posibles) de la observación o la medición; y (iv) enunciados referentes a las propiedades de las leyes básicas mismas. Los enunciados de las clases (i) y (ii) refieren a objetos físicos a los que se atribuye una existencia independiente: los primeros, a microobjetos no-observables, los otros a sistemas complejos que contienen a la vez una entidad microscópica (el objeto de la investigación) y una entidad macroscópica (un medio de investigación). Los enunciados de las clases (iii) y (iv) no se refieren directamente a objetos físicos existentes por sí mismos; los primeros se refieren a resultados de operaciones físicas practicadas sobre ellos, los demás a otros enunciados. Pero las operaciones físicas se consideran aquí como procesos puramente físicos (aunque seguramente habrán sido planeados por alguna inteligencia), y los enunciados a los que se refieren los de la clase (iv) son de la clase (i) o de la clase (ii). En ningún caso tratan las fórmulas de la teoría de los quanta con estados mentales del observador, los cuales son tema de investigación para el psicólogo. Lo más que afirman ciertas interpretaciones de la teoría es que ésta no contiene enunciados de la clase (i). Pero esa afirmación —que es falsa— no afecta a la hipótesis de la realidad del mundo externo: no hace sino convertir la teoría de los quanta en una teoría de objetos bajo control experimental, lo cual, dicho sea de paso, si fuera verdad, impediría la aplicación de la teoría a la astrofísica.*

2. *Pluralismo: La Realidad tiene una Estructura de varios Niveles.* Es una hipótesis ontológica contenida en (y apoyada por) la ciencia moderna la de que la realidad, tal como la conocemos hoy, no es un sólido bloque homogéneo, sino que se divide en varios *niveles* o sectores, caracterizado cada uno de ellos por un conjunto de propiedades y leyes propias. Los principales niveles reconocidos hasta el momento parecen ser el físico, el biológico, el psicológico y el sociocultural. Cada uno de ellos puede a su vez dividirse en subniveles. Por ejemplo, los subniveles principales del nivel físico son el físico propiamente dicho y el químico; y los principales subniveles del nivel sociocultural son el económico, el social propiamente dicho y el cultural. Pueden introducirse subdivisiones más finas, y ninguna de ellas es tajante y rígida.

Otro presupuesto, relacionado con el anterior, es que los *niveles superiores arraigan en los inferiores*, histórica y contemporáneamente; o sea, que

los niveles superiores no son autónomos, sino que dependen en cuanto a su existencia de la subsistencia de niveles inferiores, y han surgido en el tiempo a partir de los inferiores en cierto número de procesos evolutivos. Este arraigo de lo superior en lo inferior es la base objetiva de la explicación parcial de lo superior por lo inferior o a la inversa.

Las dos hipótesis ontológicas básicas que acabamos de señalar están insertas en la visión contemporánea de las cosas, hasta el punto de que subyacen a la clasificación corriente de las ciencias y dominan más o menos nuestro sistema de educación superior. Así, por ejemplo, el psicólogo científico se ve obligado a aprender cada vez más biología y hasta química y física, porque cada vez se ve más claro que los hechos psíquicos arraigan en esos niveles inferiores; pero el psicólogo se ve también cada vez más obligado a comunicar con la sociología, porque estamos dándonos cuenta de que existe una reacción del nivel sociocultural sobre los niveles inmediatamente inferiores a él: así reconocemos la influencia de la religión en las costumbres de alimentación y la reacción de estas últimas costumbres sobre la producción de alimentos. Sólo los físicos tienen derecho a ignorar los niveles superiores —y a veces los ignoran hasta el punto de hablar de una influencia mental directa sobre los fenómenos físicos, saltándose así todos los niveles intermedios.

Además subyace la citada hipótesis de los niveles a varios importantes principios de la *metodología* científica, los de parsimonia de niveles, trascendencia de niveles, nivel-origen y contigüidad de niveles. (Según algunos filósofos los niveles son un asunto puramente metodológico, sin alcance ontológico. Pero ésta es otra hipótesis ontológica, la cual, además, separa la metodología del resto y es por tanto incapaz de explicar por qué un método es eficaz o fracasa.) El principio de la *parsimonia de niveles* es como sigue: "Empezar por estudiar los hechos en su propio nivel; no introducir más niveles más que si resulta imprescindible". Por ejemplo, no hay que introducir la psicología y la psiquiatría en el estudio de la política internacional, puesto que se puede andar un gran trecho sin su compañía. El principio de la *trascendencia de niveles*: "Si un nivel es insuficiente para dar cumplida cuenta de un conjunto de hechos, hay que ahondar bajo su superficie y por encima de ella en busca de los niveles contiguos". Por ejemplo, para explicar los enlaces químicos no hay que detenerse ante las leyes particulares de las reacciones químicas o su correspondiente termodinámica, sino que hay que mirar también por debajo del nivel molecular, al nivel atómico, en busca de los mecanismos relevantes. Principio del *nivel-origen*: "Intentar explicar lo superior por lo inferior, y no invertir el proceso sino en última instancia". Por ejemplo, hay que intentar resolver el problema de la resolución de problemas por los animales utilizando los conceptos de ensayo y error y de aprendizaje; no se introducirán la comprensión y la inteligencia más que si ese primer planteamiento es insuficiente y si la complejidad del sistema nervioso del animal estudiado hace

posibles la comprensión y la inteligencia. Este principio puede llamarse también principio de *reductivismo metodológico*, que no debe confundirse con el reductivismo ontológico ni con la negación de los niveles. Principio de *contigüidad de los niveles*: "No saltarse niveles, esto es, no ignorar los niveles intermedios cuando se establecen relaciones entre niveles". Por ejemplo, no hay que considerar adecuada una explicación de un esquema de comportamiento social sobre la base de términos físicos, porque los estímulos físicos no pueden alcanzar el nivel social más que a través de organismos dotados de ciertas capacidades psíquicas. El salto de niveles puede ser, sin embargo, inevitable cuando se dispone de poco conocimiento; y puede ser incluso interesante cuando los procesos intermedios no tienen interés en la investigación en curso. Pero éstas son consideraciones pragmáticas que no tienen valor cuando el objetivo perseguido es una fiel reproducción de la realidad.

3. *Determinismo Ontológico: Leyes, no Magia*. La doctrina filosófica del determinismo tiene dos aspectos, uno ontológico y otro epistemológico, que se confunden frecuentemente. El *determinismo ontológico* sostiene la determinación de las cosas y de los acontecimientos; el *determinismo epistemológico* afirma la posibilidad de determinar conceptualmente (conocer) los hechos y sus esquemas enteramente. En sentido estrecho, el determinismo ontológico equivale al determinismo mecanicista o laplaceano, componente de la visión newtoniana del mundo y según el cual el cosmos es un conjunto de partículas en interacción que se mueven de acuerdo con un puñado de leyes mecánicas. La versión amplia del determinismo supone sólo (i) la hipótesis de que todos los acontecimientos son según leyes (*principio de legalidad*) y (ii) la hipótesis de que nada nace de la nada ni se sume en ella (*principio de negación de la magia*). Este determinismo laxo no restringe los tipos de leyes admisibles: admite leyes estocásticas y reconoce la objetividad del azar. Lo único que niega es la existencia de acontecimientos que carezcan de ley o no sean producidos por otros acontecimientos anteriores.

Hasta la tercera década de nuestro siglo persistieron varios matices de determinismo estrecho, ninguno de los cuales reconocía la objetividad del azar. Sus sostenedores no se daban cuenta de que incluso admitiendo, que cada una de las entidades de un conjunto se comporte de un modo perfectamente determinado (no casual), resultará alguna cantidad de juego o azar por la relativa independencia mutua de esas entidades (pues no existe la rigidez completa). Finalmente, el determinismo ontológico estrecho quedó derrotado por la teoría de los cuanta, la cual reconoce la objetividad del azar no sólo como rasgo de sistemas complejos, sino incluso al nivel de las partículas "elementales", las cuales obedecen a leyes estocásticas. *El que esa casualidad sea un conocimiento definitivo o pueda ser algún día analizada como resultado de complejos procesos internos o interacciones con campos de niveles inferiores es cosa que aún

no puede decidirse. Es, además, importante darse cuenta de que tanto la teoría de los quanta como su filosofía están aún en gestación, por lo que no deben inferir de ellas consecuencias detalladas presentándolas como si fueran conocimientos definitivos acerca del comportamiento de los microsistemas. Pero el tipo de azar y los niveles exactos en los cuales se presenta es de importancia secundaria si se compara con el reconocimiento de que el azar es un modo del devenir y precisamente un modo que obedece a leyes. También es importante para nosotros en este momento darnos cuenta de que la teoría de los quanta se acoge a los principios de legalidad y recusación de la magia: esa teoría formula leyes que recubren la mayoría de los esquemas conocidos al nivel atómico, y entre esas leyes hay algunas de conservación, esto es, que niegan la creación *ex-nihilo* y la aniquilación sin resto de sistemas materiales (partículas o campos), por muchas que sean las partículas que se "aniquilan" (esto es, que se transforman en fotones) y viceversa. En resolución, la teoría de los quanta respeta el determinismo general igual que cualquier otra teoría científica. ¿Y cómo podría ser de otro modo si esa teoría pretende esforzarse por alcanzar el objetivo de la ciencia, que es la reconstrucción conceptual de los esquemas (leyes) del ser y el cambio? Imaginar acontecimientos no regidos por leyes sería reconocer que ninguna ciencia puede dar razón de ellos, lo cual equivaldría a prejuzgar la cuestión. E imaginar acontecimientos que obedecieran a leyes, pero fueran indeterminados (como, por ejemplo, la creación de átomos a partir de la nada) sería reconocer que ninguna ley es realmente necesaria, puesto que todo es posible, incluso la magia: de hecho, si un átomo puede surgir sin condición antecedente determinada, entonces ¿por qué no va a poder hacer lo mismo una molécula? Y si lo puede una molécula, ¿por qué no un cromosoma? Y si lo puede un cromosoma, ¿por qué no una célula? Y si lo puede una célula, ¿por qué no un dinosaurio? Dicho brevemente: el determinismo general está implantado en la ciencia *qua* ciencia, en la medida en que la investigación científica es la búsqueda y la aplicación de leyes, las cuales, a su vez, ponen límites a las posibilidades lógicas, como puede ser el nacimiento de algo a partir de nada o la desaparición de algo en nada.

4. *El Determinismo Epistemológico: Cognoscibilidad.* El determinismo epistemológico estricto es la hipótesis programática de que toda cosa puede ser conocida con tal de que atendamos a ella: que en principio es posible conocer agotadoramente los objetos presentes, pasados y futuros, de tal modo que no quede incertidumbre alguna a su respecto. Esta forma estrecha de determinismo se abandonó *de facto*, si no *de iure*, en la segunda mitad del siglo XIX, al aparecer la física de los campos y la física estadística. La primera mostró que es en principio imposible conseguir conocer cada porción de un campo, porque un campo es un sistema con infinitos grados de libertad. Y la física estadística mostró que el estado de cada partícula en un sistema no puede conocerse de modo completo, aunque

no sea más que por su pequeñez y su gran número, por no hablar ya de los movimientos de las partículas. Pero esto se consideró como una limitación práctica del conocimiento, mientras que las limitaciones impuestas por los medios continuos, como los campos, son límites *de iure*, irrebasables por lo tanto. Pero son límites de *experiencia*, límites que la teoría puede rebasar. Así, aunque no podemos tener la ilusión de medir el valor de la fuerza o intensidad del campo en todos los puntos de una región, sí que podemos *calcularlo* con la ayuda de la teoría y de datos bien elegidos. Sólo recordando que el conocimiento empírico no agota el conocimiento científico podemos evitar el ser víctimas del escepticismo completo o del irracionalismo.

En todo caso, igual que hemos abandonado el determinismo ontológico estrecho y hemos adoptado en su lugar una doctrina más rica, así también tenemos que flexibilizar el determinismo epistemológico estrecho y adoptar la hipótesis (filosófica) de la *cognoscibilidad limitada*. Esta versión laxa del determinismo epistemológico admitirá las incertidumbres arraigadas en el azar objetivo y las que son inherentes a nuestra capacidad de conocer. Esta versión del determinismo epistemológico nos obliga exclusivamente a esperar que los efectos del azar (o más bien sus probabilidades) puedan finalmente calcularse, y que puedan analizarse, calcularse y reducirse en alguna medida las laxitudes objetivas (indeterminaciones) o subjetivas (incertidumbres). El determinismo laxo o general recoge las aportaciones valiosas del indeterminismo, principalmente el reconocimiento de que existe objetivamente el azar en todos los niveles (por tanto, que hay leyes estocásticas) y el reconocimiento de que no es posible ninguna certeza definitiva. Esta doctrina metafísica no se puede hallar en ningún contexto científico por la sencilla razón de que está presupuesta en todos ellos, en la investigación científica: si se elimina la hipótesis de la cognoscibilidad (limitada), se detiene todo motor que lleve a buscar el conocimiento científico; y si se elimina la restricción indicada por la palabra 'limitada' quedan permitidas las investigaciones absurdas, como, por ejemplo, el intentar comunicarse con el pasado o con el futuro. Así pues, el problema epistemológico genuino no es si podemos conocer, sino en qué medida conocemos de hecho y en qué medida podemos ampliar las actuales fronteras de lo conocido, recordando siempre que el conocimiento científico, lejos de ser indubitable, es falible.

Según el fenomenismo no podemos conocer más que apariencias: ignoramos lo que puedan ser las cosas en sí mismas, aparte de nuestras relaciones con ellas; además, no tiene interés el intentar llegar a ellas mismas, porque el supuesto de su existencia independiente es una conjetura metafísica sin garantía. El fenomenismo consigue cubrir una parte del conocimiento ordinario: la que se refiere a la apariencia. Pero la ciencia va más allá de los fenómenos: en otro caso podría ser intersubjetiva (interpersonal), pero no objetiva. En realidad, las teorías científicas, lejos de

afirmar relaciones entre predicados fenoménicos, contienen predicados no-fenoménicos; además, la ciencia explica la apariencia sobre la base de hechos objetivos (hipotéticos), y no al revés. Mientras que el fenomenista y el empirista radical tienen que aceptar la proposición "Veo esta noche más estrellas que la noche pasada" como una afirmación última, puesto que expresa una experiencia, el científico intentará explicar esa experiencia, por ejemplo, basándose en las condiciones atmosféricas. Y supondrá que, las vea o no las vea nadie, las estrellas siguen estando allí, igual las visibles que las que no podemos ver nunca.

Admitido que la ciencia alcanza la cosa misma y no sólo su apariencia para nosotros, ¿hasta qué punto lo consigue? Según el positivismo tradicional, lo que la ciencia alcanza es exclusivamente el comportamiento externo del objeto y sus relaciones externas con otros objetos. Esta tesis, aunque falsa y unilateral, tiene una sana raíz metodológica, a saber, la siguiente regla de método: "Contrastar las hipótesis referentes a la composición y la estructura interna de los sistemas mediante sus manifestaciones externas". La razón de esa regla es, a su vez, la generalización de que la externalización es una condición necesaria, aunque insuficiente, de la observabilidad; dicho de otro modo: no podemos captar la interioridad de una cosa si no se manifiesta, aunque sea muy indirectamente, a nuestros sentidos. Pero eso no debe llevarnos a confundir la referencia de las hipótesis científicas con su contrastación: el comportamiento externo no es la cosa, sino una porción de ella. El comportamiento y la estructura interna no son más que dos aspectos de los sistemas reales; explicamos el comportamiento por la estructura interna y contrastamos las hipótesis sobre la estructura por medio del comportamiento observable. En cuanto a la prescripción relacionista, debería estar claro que (i) salvo en lógica pura, nunca nos limitamos a establecer simples relaciones, y aún menos relaciones entre relaciones, sino más bien relaciones entre variables cada una de las cuales representa un supuesto rasgo objetivo, y (ii) un conjunto de sistemas interrelacionados es un sistema de orden superior, de tal modo que las relaciones entre los miembros del último producen la estructura del todo. En resolución; un estudio de relaciones puede ser profundo si lo deseamos.

Pero es claro que si no se busca más que una descripción del comportamiento externo no se conseguirá más que eso. Pero entonces la limitación de nuestro planteamiento no podrá atribuirse al objeto de la investigación, ni tampoco a toda investigación posible. Un planteamiento más profundo —representacional en vez de fenomenológico— puede entonces formularse para buscar las fuentes internas del comportamiento. Este planteamiento se pondrá a sí mismo la tarea de hallar (i) las propiedades y relaciones origen del objeto, y (ii) las relaciones fundamentales entre esas variables esenciales, o sea, las leyes esenciales del objeto, que dan razón de los mecanismos internos responsables últimos de su comportamiento externo (parcialmente observable). Esas variables-origen y esas relaciones invariantes entre

ellas son lo que hoy se entiende por *esencia* de una cosa —en vez de entender por esa expresión alguna especial sustancia nuclear. La ciencia intenta pues descubrir la esencia de las cosas, pero en este sentido más elaborado de 'esencia'. Y seríamos insensatos si proclamáramos en todo momento que se ha capturado de una vez para siempre la esencia de algo: lo que podemos obtener son perspectivas cada vez menos confusas sobre leyes esenciales de diferentes niveles.

En suma, la ciencia presupone que sus objetos son cognoscibles en alguna medida, y reconoce que algunos de los límites puestos al conocimiento se deben a los objetos mismos, mientras que otros son transitorios. A su vez, la posibilidad de conocer algo, posibilidad sostenida por el determinismo epistemológico, se basa en la supuesta determinación del mundo: si los acontecimientos carecieran de todo esquema y no fueran producidos por otros acontecimientos ni dejaran huella alguna, no serían posibles más que impresiones vagas y fugaces. El hecho empírico de que la investigación científica consiga captar 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 " $\{p \vee q, \neg q\} \vdash p$ ", siguen inmutables porque no tienen contenido factual. Otro asunto es el hecho de que no siempre se les haya reconocido su auto-suficiencia, 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 más 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 de 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 " $p \vee \neg p$ " 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*, 2.^a ed., London, Macmillan, 1907, chap. I.

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 cfr. E. NAGEL, *Logic Without Metaphysics*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1956, chap. 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, págs. 155 ss., 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*, London, Routledge and Kegan Paul, 1963, pág. 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.

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*, London, Heinemann, 1962, pág. 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 y/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*: ¿Deja la investigación científica residuos irracionales, como afirma, por ejemplo, E. Meyerson?

5.9.9. El individualismo filosófico, como el mecanicismo, puede ser ontológico y/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*: Comparar la búsqueda actual de propiedades y relaciones esenciales con el esencialismo aristotélico.

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*, London, George Allen and Unwin, 1948, pág. 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

- C. BERNARD, *Introduction to the Study of Experimental Medicine*, trad. inglesa de H. D. Greene, New York, Macmillan, 1927.
- W. I. B. BEVERIDGE, *The Art of Scientific Investigation*, New York, W. W. Norton and Co., 1950, chap. IV.
- M. BUNGE, *Intuición y ciencia*, Buenos Aires, Eudeba, 1964.
- , *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., 1963, chaps. 4-8, 9 y 10.
- , *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.
- , *A World of Systems*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1979.
- , "Phenomenological theories", en M. Bunge, ed., *The Critical Approach*, New York, The Free Press, 1964.
- P. DUHEM, *The Aim and Structure of Physical Theory*, 1914, trad. inglesa, New York, Atheneum, 1962, Part II, chap. VII.
- N. R. HANSON, "The Logic of Discovery", *Journal of Philosophy*, LV, 1073, 1958. Crítica de D. Schon, *ibid.*, LVI, 500, 1959, y adhesión de Hanson *ibid.*, LVII, 182, 1960.
- E. NAVILLE, *La logique de l'hypothèse*, Paris, Alcan, 1880.
- K. R. POPPER, *Conjectures and Refutations*, New York, Basic Books, 1962, chaps. 1 y 8.
- , *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos, 1962.
- F. C. S. SCHILLER, "Hypothesis", en S. Singer, ed., *Studies in the History and Method of Science*, Oxford, Clarendon Press, 1921, vol. II.
- E. B. WILSON, *An Introduction to Scientific Research*, New York, McGraw-Hill, 1952, 7.5.
- J. O. WISDOM, *Foundations of Inference in Natural Science*, London, Methuen, 1952, chaps. III y IV.
- J. H. WOODGER, *Biology and Language*, Cambridge University Press, 1952, Lect. I, sec. 1 y Lect. II, sec. 1.

CAPÍTULO 6

LEY

- 6.1. Variables e Invariantes
- 6.2. La Búsqueda de la Ley
- 6.3. Clases
- 6.4. Forma y Contenido
- 6.5. Fórmulas y pautas
- 6.6. Requisitos
- 6.7. *Leyes de Leyes
- 6.8. La Regla de la Ley

Una ley científica es una hipótesis de una determinada clase, a saber: una hipótesis confirmada de la que se supone que refleja una pauta objetiva. La posición 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 podríamos 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: $x = y \leftrightarrow (P) [P(x) \leftrightarrow P(y)]$.) 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 respectos 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 elemental 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 proposicional cubre una infinidad de proposiciones. (Según eso, 'cálculo proposicional' es un nombre falso y conveniente: es conveniente porque es breve, y es inadecuado porque en realidad ese cálculo no maneja proposiciones, sino variables proposicionales. Pero ésta no pasa de ser una observación pedante: toda teoría científica es general en alguna medida, y la generalidad exige la introducción de variables.) 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 " $P(\text{propiedades mecánicas})$ ". 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 de 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 Secc. 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 dependiente*, 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 e 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 (cfr. 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.

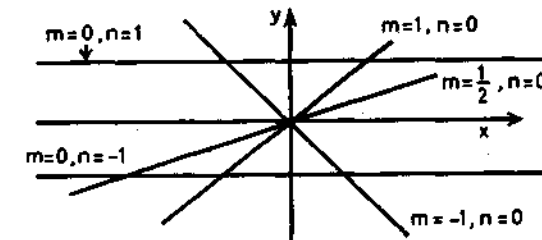


FIG. 6.1. La función lineal [6.1] representa un conjunto infinito de rectas de un plano.

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

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

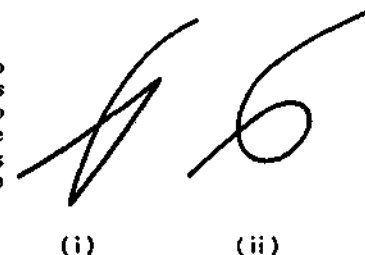
(Hemos escrito ' $s(t)$ ' para expresar la distancia con el fin de indicar que ésta es función del tiempo t .) Esta ley, una de las leyes cuantitativas más simples, presenta con claridad el rasgo principal de toda ley, a saber, el ser una *relación constante* entre dos o más variables que se refieren 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 [6.2] 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 indicados parámetros 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 infinidad 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 infi-

nidades. 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 imparten órdenes a los hechos.

FIG. 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.



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 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 desprecio del antece-

dente 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 aspectos ciertos esquemas o ciertas estructuras. Dicho brevemente: una ley es una 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? Cfr. W. V. O. QUINE, "Variables Explained Away", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 104, 343, 1960. *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. Cfr. sus *Prolegomena*, 1783, especialmente 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, pág. 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*, London, George Allen and Unwin, 1940, chap. 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" (pág. 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. Dilucidar el concepto de identidad aproximada tal como se presenta en la proposición "Todo par de átomos completos de helio son aproximadamente idénticos". *Problema en lugar de ése*: 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 constrictión social, pero no 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, chap. 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? Cfr. E. MEYERSON, *Identity and Reality*, 1908, ed. inglesa, New York, Dover Publications, 1962.

6.2. La Búsqueda de la Ley

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, trasfenoménicas— 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 varia-

bles 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 correlatadas establece una relación entre ellas.. *Dicho de otro modo: cuando decimos que la aceleración de un cuerpo en caída libre es independiente de su masa entendemos más o menos " $da/dm = 0$ ", y no " $(R) - [R(a, m)]$ ".* 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 $+1$ ó -1 , obtenemos, como caso especial, la relación lineal [6.1] entre x e y . (Cfr. Fig. 6.3.) Las variables funcionalmente interrelacionadas están correla-

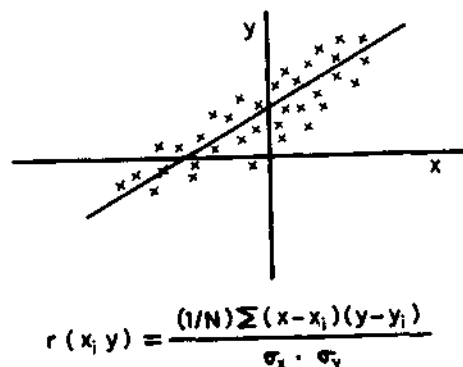


FIG. 6.3. Variables linealmente correlatadas. La línea recta (línea de regresión lineal) es algo así como la media del acúmulo de datos.

tadas, pero no a la inversa: si el coeficiente de correlación se acerca a $+1$ ó -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 Fig. 6.3 (línea de regresión lineal)— podemos justificadamente interpretar la línea como una *tendencia*, aunque no todavía como una ley propiamente dicha.

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 Fig. 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 rastrearse 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. Esta 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. (Cfr. Secc. 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 standard 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 corriente *técnica de interpolación* —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 u *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 grano $n-1$ 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 expone 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

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'

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 (cfr. Fig. 6.4). Vemos así que, hasta los 30° aproximadamente, la aproxi-

mación 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.

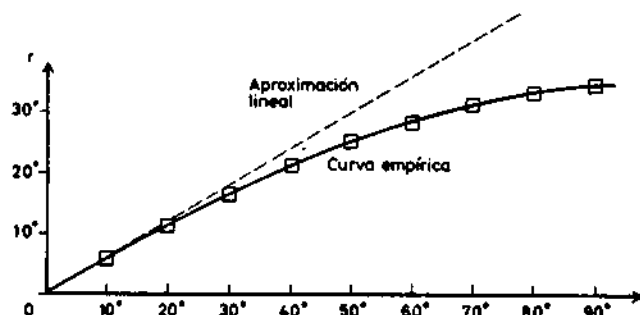


FIG. 6.4. Representación y generalización de la Tabla 6.1, referente a la relación entre el ángulo de incidencia i y el ángulo de refracción r . Cada cuadrado representa un dato empírico.

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.

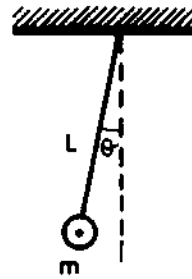
La ley de Snell puede formularse del siguiente modo: "El seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción es igual a una constante [el índice de refracción para el par de sustancias considerado]". Simbólicamente: $\sin i / \sin r = n = \text{const.}$ Esta ley vale, con cualificaciones, 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, $\sin nx$); en segundo lugar, contienen constantes puramente numéricas sin significación factual.

Otra técnica diferente, útil, pero limitada, en la búsqueda de leyes de

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



nivel inferior, es el *análisis dimensional*. Supongamos que deseamos hallar la ley de la oscilación del péndulo simple (cfr. 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 entonces por enumerar las relaciones que presumimos relevantes, con sus dimensiones correspondientes:

Variable	Símbolo	Fórmula dimensional	Unidad
Período 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 sospechas 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 (cfr. 13.5).) Supongamos que hayamos resuelto esta relación para el período 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 dimensiones, puede presentarse en cualquier forma, por lo que hace al análisis dimensional; por tanto, podemos separarlo del modo siguiente: $T = F(L/g) \cdot f(\theta)$. 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 (cfr. 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, $f(\theta) \approx 6$. 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 co-

municarse 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 eso 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. *Problema en lugar de ése*: Estudiar la dilucidación de los conceptos de relevancia favorable y desfavorable (i) con la ayuda del concepto de función y/o (ii) sobre la base de la probabilidad.

6.2.3. Estudiar el análisis de correlaciones en la búsqueda de leyes. Cfr. M. BUNGE, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, chap. 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: $s = \sin^{-1}(\sin i/r)$. *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. Discutir la clasificación como medio para obtener generalizaciones empíricas acerca de conjunciones o correlaciones de estructuras o funciones, tales como "Los mamíferos tienen sangre caliente", o "La fórmula dental de

W. S. JEVONS *The Principles of Science*, 2nd. ed., 1877; New York, Dover Publications, 1958, chap. XXX, especialmente págs. 677 y 682.

6.2.8. Hasta el momento, los investigadores que han buscado leyes históricas han intentado obtener generalizaciones empíricas a partir del material histórico disponible. ¿Es probable 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?

6.2.9. 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?

6.2.10. ¿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. *Problema en lugar de ése*: Supongamos que se sospecha una asociación entre determinadas variables. El primer problema consiste en averiguar si están efectivamente correlatadas. 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 suspenderemos 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 (cfr. Secc. 5.9). Cada uno de esos niveles puede caracterizarse por variables y leyes propias, 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_i , por ejemplo el sexo.

Variables psicológicas, ψ , por ejemplo, el impulso.

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

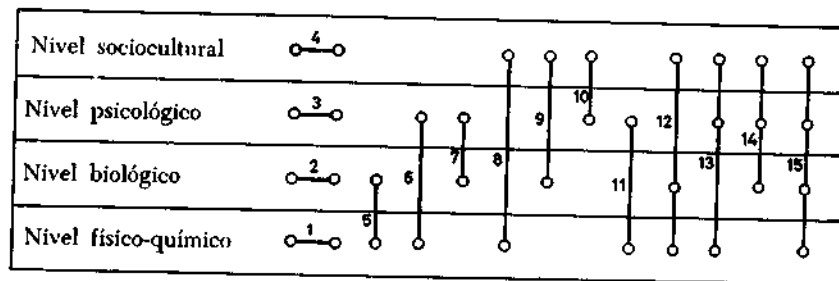
los monos antropoides y de los Homínidos es $\frac{2.1.2.3}{2.1.2.3}$ ". Cfr. el libro clásico de

Las varias relaciones constantes, fundadas y confirmadas, entre tales variables compondrán el conjunto de las 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. $\varphi_1 = F(\varphi_1)$	Leyes físicas y químicas	LEYES INTRANIVEL
2. $\beta_1 = F(\beta_1)$	Leyes biológicas	
3. $\psi_1 = F(\psi_1)$	Leyes psicológicas	
4. $\sigma_1 = F(\sigma_1)$	Leyes sociológicas	
5. $\beta_1 = F(\varphi_1)$	Leyes biofísicas y bioquímicas	LEYES INTERNIVELES
6. $\psi_1 = F(\varphi_1)$	Leyes psicofísicas y psicoquímicas	
7. $\psi_1 = F(\beta_1)$	Leyes psicobiológicas	
8. $\sigma_1 = F(\varphi_1)$	Leyes sociofísicas	
9. $\sigma_1 = F(\beta_1)$	Leyes sociobiológicas	
10. $\sigma_1 = F(\psi_1)$	Leyes sociopsicológicas	
11. $\psi_1 = F(\varphi_1, \beta_k)$	Leyes psicobiofísicas	
12. $\sigma_1 = F(\varphi_1, \beta_k)$	Leyes sociobiofísicas	
13. $\sigma_1 = F(\varphi_1, \psi_k)$	Leyes sociopsicofísicas	
14. $\sigma_1 = F(\beta_1, \psi_k)$	Leyes sociopsicobiológicas	
15. $\sigma_1 = F(\varphi_1, \beta_k, \psi_k)$	Leyes sociopsicobiofísicas	

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 14.ª clase son las leyes de la psicología social en las cuales variables biológicas (como el sexo) y sociales (como el status social) determinan variables de comportamiento. Y ejemplos de la

15.ª 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 (cfr. Secc. 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 " $\psi = F(\varphi)$ " del modo siguiente: $\psi = G(\beta)$, $\beta = H(\varphi)$, con lo que la ley inicial se convertiría en $\psi = G[H(\varphi)]$; 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 (cfr. Secc. 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

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

Otro modo de expresarlo consiste en introducir dos constantes

temporales cualesquiera, t y t' , y decir que, para todo t y todo t' , si x es un sistema aislado en el momento t , entonces la energía total de x en el momento t es la misma que la energía total de x en el momento t' . (Simbólicamente: $t \neq t' \ \& \ A(x, t) \rightarrow E(x, t) = E(x, t')$.) En esta notación ' A ' es un predicado cualitativo diádico que representa 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 un millón 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 metanómico, 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 desa-

rollada: "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 desprecia el antecedente de este condicional.

Eso —el principio de Arquímedes— es un intento de resolver el pro-

blema “ $(?X) (P - P_a = X)$ ”. 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 el fluido. 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 interribles.) 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 ese condicional. Pero la formulación explícita de las condiciones como *parte* del enunciado legaliforme tiene la ventaja de que muestra con claridad cuáles son las *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 casual-

lidad. 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 (cfr. Fig. 6.6). Por

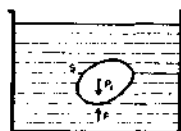


FIG. 6.6. Una parte del líquido en equilibrio con el resto: la presión hacia arriba, F , equilibra el peso (hacia abajo), P .

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 , 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 queda equilibrada por una presión hacia arriba, F , que se origina en el líquido situado por debajo de S , o sea: $P = F$. 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: $F = \alpha P - P_a$. Sustituyendo en la ley " $P_f = F$ " obtenemos el "principio" de Arquímedes.

¿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 esas: 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? Cfr. la colección *Greek Mathematics*, trad. de I. Thomas, London and Cambridge, Mass., The Loeb Classical Library, 1941, págs. 249-251, y pág. 31 por lo que hace a la opinión de Plutarco sobre la actitud de Arquímedes respecto de las artes útiles. *Problema en lugar de ése*: Según J. J. C. SMART, *Philosophy and Scientific Realism*, London,

Routledge, 1963, chap. III, no hay leyes biológicas, igual que no hay leyes de la ingeniería. Discutir esa opinión.

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. Especular 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 metanomológica "Las leyes son independientes de su localización en el espacio-tiempo" que todas las leyes vigen, por así decirlo, en todos los rincones del universo, incluso cuando 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, $A(h) = \text{Card}[D(h) \cup I(h)]$. 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 status 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 manifestamente 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 Card ($A \cap B$)/Card (A). Consiguientemente, nuestra generalización puede formularse así: Card ($A \cap B$)/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: $A \neq \phi$) 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: $A \neq \phi \rightarrow P(x \in A \cap B / x \in A) = p$. 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

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

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 ésta 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 fácticamente, 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 uná 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, suponemos 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, completariamos [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' (cfr. Secc. 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 satisfacti-

bles. 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 metanológico 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 Secc. 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 tan poco 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 .) Esta 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 sólo 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 monón 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 (cfr. Secc. 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 reagentes 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: " $pV = \text{const.}$ " 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 respecto 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". Cfr. W. V. QUINE, *Ontological Relativity and Other Essays*, New York, Columbia University Press, 1969. Véase una crítica en M. BUNCE, *Epistemología*, Barcelona, Ariel, 1980, 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. Cfr., 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. *Problema en lugar de éste*: Examinar la propuesta de considerar cada símbolo que se presenta en un enunciado legaliforme cuantitativo como una plena magnitud, en

vez de entenderlo como la variable numérica de una magnitud. Esta interpretación, llamada a veces "cálculo de la cantidad", fue defendida por E. A. GUGGENHEIM en "Units and Dimensions", *Philosophical Magazine*, 33, 479, 1942.

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) esquema objetivo; (ii) fórmula (proposición o función proposicional) que intenta reproducir un esquema objetivo; (iii) fórmula que refiere a un esquema objetivo y a la experiencia; (iv) metaenunciado que refiere a un enunciado legaliforme; y (v) regla basada en un enunciado legaliforme (cfr. Fig. 6.7). Evitaremos confusiones entre esas varias significaciones adoptando las convenciones siguientes:

CONOCER	FORMULA METANOMOLOGICA (Esquema de enunciados legaliformes)	REGLA FUNDAMENTADA (Prescripción tecnológica)	T A C E R
	FORMULA LEGALIFORME (Conocimiento de la ley)	FORMULA NOMOPRAGMATICA (Contrastación y uso de la fórmula legaliforme)	
SER	LEY (Esquema objetivo)		

FIG. 6.7. Significaciones de 'ley' en la ciencia.

'Ley' (o 'ley objetiva', o 'estructura nómica') designa un esquema 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 (estructura nómica). Una fórmula legaliforme es un objeto conceptual, a saber, una hipótesis científica que satisface ciertos requisitos de generalidad, corroboración y sistematicidad (cfr. Secc. 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 (cfr. Secc. 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 Secc. 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 esquemas objetivos es cosa que admitirá toda persona que piense que el objetivo central de la ciencia es el *descubrimiento* de esquemas objetivos, 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*. (Esa 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. (Cfr. 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.

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, " $i/r = n$ ", es válida para ángulos pequeños (cfr. 6.2, Fig. 6.4). Ejemplo 2: La ley galileana "La aceleración de la gravedad es constante" es una aproximación de primer orden (orden míni-

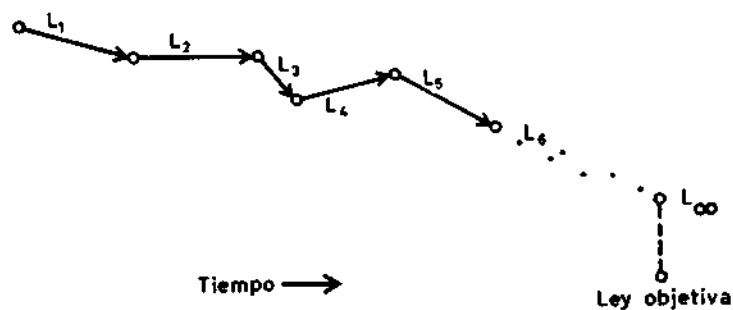


FIG. 6.8. Representación simbólica de los pasos sucesivos hacia el límite ideal del enunciado legaliforme completamente verdadero, L_{∞} . Obsérvese la regresión temporal L_5 , probablemente debida al defecto de una mala filosofía de la ciencia.

mo) a una ley más compleja, en la cual la aceleración de la gravedad depende de la altura y del radio de la Tierra (cfr. 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 (cfr. Secc. 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

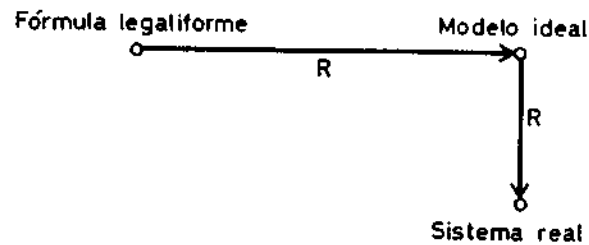


FIG. 6.9. Los correlatos de una fórmula legaliforme: el inmediato y el mediato.

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 (cfr. Fig. 6.9). Por ejemplo, la física clásica de los cuerpos sólidos es consistente 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.

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, etc.

*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 (cfr. Secc. 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 (cfr. Fig. 6.10).

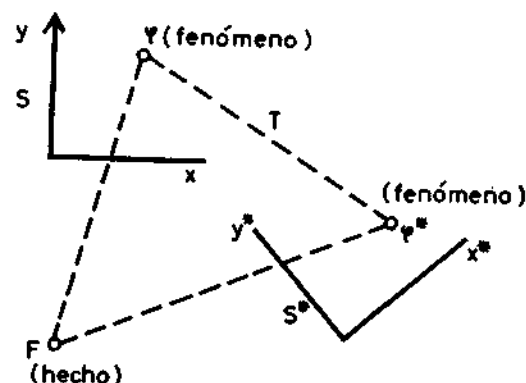


FIG. 6.10. Un solo hecho, F , se ve y se describe como fenómeno φ respecto del marco de referencia R , y como otro fenómeno diferente, φ^* , respecto del sistema de referencia diferente R^* . Por lo que hace a la transformación T que relaciona φ y φ^* , cf. 6.7.

La relatividad de las leyes de nivel bajo corresponde a la infinitud 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 obje-

tividad. 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 metanomológicas.

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? Cfr. 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 '...' 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 fig. 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 fig. 6.11). ¿Qué puede inferirse de la desviación del crecimiento real respecto de la hipótesis del crecimiento ilimitado (curva (i))?

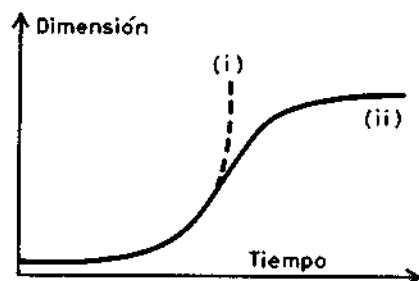


FIG. 6.11. Crecimiento de sistemas de unidades auto-reproductoras. (i) La ley del crecimiento exponencial; (ii) la ley sigmoide del crecimiento.

6.5.4. Informar acerca de alguno de los textos siguientes: A. N. WHITEHEAD, *Adventures of Ideas*, 1933; New York, Mentor Books, 1955, chap. 7, especialmente págs. 115-123. A. SHIMONY, "Ontological Examination of Causation", *Review of Metaphysics*, 1, 52, 1947. M. BUNGE, *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, chap. 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 expe-

riencia 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 legítimos.

6.5.6. Comentar el siguiente texto de la obra de G. ORWELL 1984, New York, Signet Books, 1950, pág. 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*, New York, Doubleday Anchor Books, 1958: toda ley científica "es una generalización de una colección de resultados de observaciones" (pág. 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" (pág. 290). (ii) H. REICHENBACH, *Modern Philosophy of Science*, London, Routledge and Kegan Paul, 1959: "Una ley no es una descripción de lo observado, sino de lo observable" (pág. 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 compro-

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

barse fácilmente, la media de cada secuencia es cero. Esto da pie a las siguientes generalizaciones provisionales: "El valor medio de $x = 0$ " 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 *juke-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 gorriones se mueven mucho" 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 gorriones 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 respectos 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* (cfr. Secc. 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 sumi-

nistrar 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

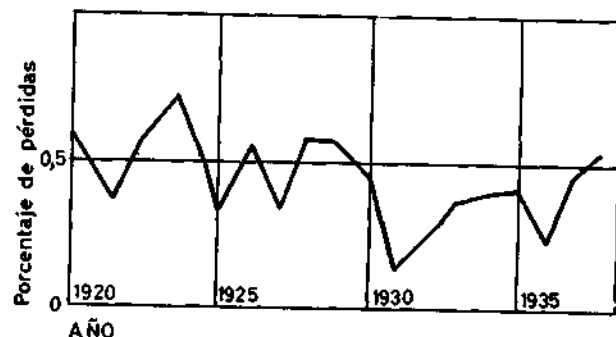


Fig. 6.12. Naves británicas naufragadas entre 1920 y 1938: serie casual. Según G. U. YULE y M. G. KENDALL, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 1950, pág. 614.

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 (cfr. Fig. 6.12).

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 varian-

cia media del número de esos máximos y mínimos es $\sigma^2(p) = (16n - 29)/90$. 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 *contrastación 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 (cfr. Secc. 6.2). Las series temporales no casuales son, pues, resúmenes de datos que, en principio, pueden sustituirse por leyes teóricas 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 interesáramos 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 conoci-

miento 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 estatus 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 *confunciones 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

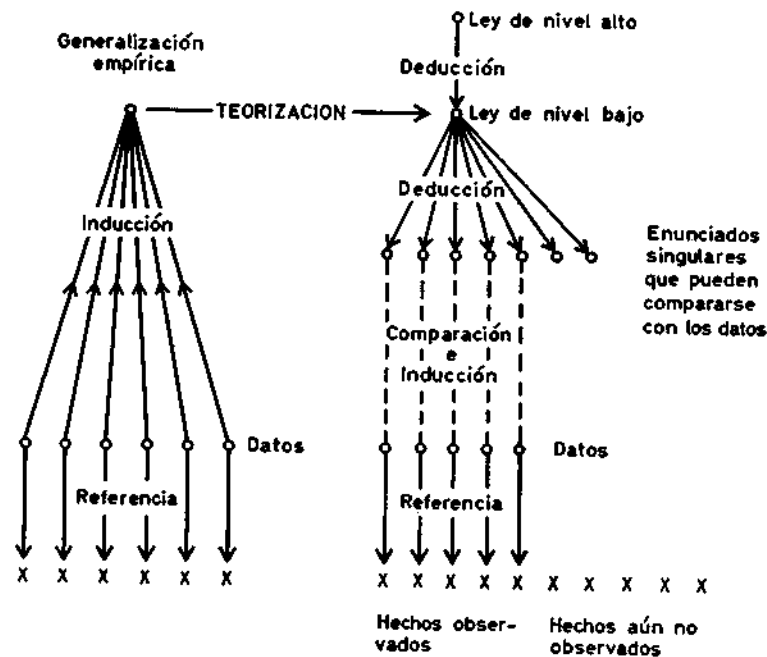


FIG. 6.13. (i) La generalización empírica como resumen de datos de observación. (ii) La transformación de la generalización empírica en una ley de nivel bajo (un teorema de una teoría).

teorización. 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 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 (cfr. Fig. 6.14). Otro ejemplo: con la aparición de las teorías atómicas

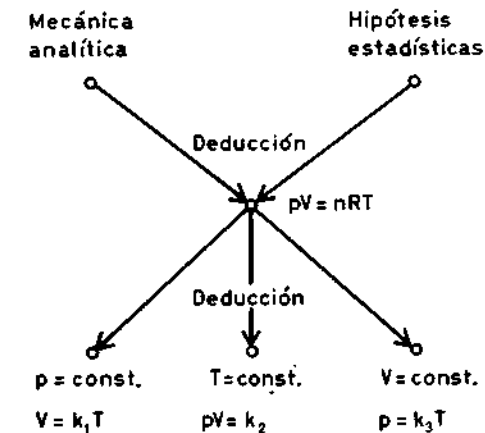


FIG. 6.14. La ley general de los gases ideales subsume tres leyes especiales, cada una caracterizada por un parámetro.

se hizo posible 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 Fig. 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 (cfr. 6.2). Este 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

relación —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 pseudouniversales como " $(\forall x)[x \in c \rightarrow P(x)]$ ". 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 período 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 metaleyas 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. Cfr. H. REICH-

ENBACH, *Elements of Symbolic Logic*, New York, Macmillan, 1947, pág. 368. ¿Debe exigirse la verdad, sin más calificación, a los enunciados sintéticos (no formales)? Por lo que hace al carácter aproximativo y, por tanto, provisional de las leyes físicas, cfr. P. DUHEM, *The Aim and the Structure of Physical Theory*, 1914, New York, Atheneum, 1962, págs. 165 ss.

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. *Problema en lugar de ése*: Los siete presidentes de los Estados Unidos elegidos, con intervalos de 20 años, en años que terminaban en cero, desde el presidente Harrison (1840) hasta el presidente Kennedy (1960), murieron en el ejercicio de su cargo. ¿Es eso un enunciado legaliforme? ¿Tiene capacidad predictiva?

6.6.4. Informar acerca del predominio de las generalizaciones empíricas sobre las leyes en la ciencia social contemporánea. Cfr. R. K. MERTON, *Social Theory and Social Structure*, 2.ª ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, págs. 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. Cfr. 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 cantidad de 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 teóricas 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 (cfr. 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. Cfr. 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 absoluta, y probablemente en el caso de que sepamos que no pueden ser verdaderas por puro hecho.

6.6.9. Discutir los requisitos del carácter de ley establecidos por S. KÖRNER en "On Laws of Nature", *Mind*, N. S., LXII, 216, 1953. *Problema en lugar de ése*: Procurar 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 teóricas 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 la misma? *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 *ceitinossttuu*, 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 cumple 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* (cfr. Secc. 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 (cfr. Secc. 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 (cfr. Fig. 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 precamente 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 consecuencias 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 enunciatión 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. Examinar las condiciones de invariancia impuestas a las leyes psicofísicas por D. LUCE en "On the Possible Psychophysical Laws", *Psychological Review*, 66, 81, 1959.

6.7.3. 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 ése? ¿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?

6.7.4. 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". *Problema en lugar de ése*: Examinar el estatuto metodológico de la fórmula metanomológica enunciada en la Secc. 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*, 2.^a ed., Cambridge University Press, 1957, pág. 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, pág. 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 formularlo de nuevo como enunciado metanomológico e introducirlo en el cuerpo de los presupuestos de la teoría. Cfr. G. HAMEL, *Theoretische Mechanik*, Berlin, 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. Cfr. C. TRUESDELL and R. TOUPIN, "The Classical Field Theories", chap. G, in S. FLÜGGE, ed., *Encyclopedia of Physics*, Berlin, 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). Cfr. M. BUNGE, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, chap. 12. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema de la equivalencia pragmática (o la no equivalencia pragmática) de fórmulas lógicas o semánticamente no-equivalentes (o equivalentes).

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, sustituirá 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 (cfr. 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.

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* (cfr. Secc. 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

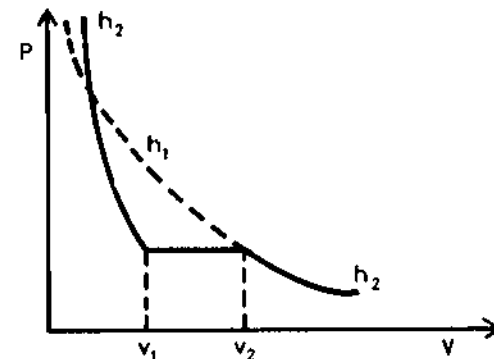


FIG. 6.15. Compresión isotérmica de un gas real. Las primeras observaciones eran compatibles con h_1 . Luego se descubrieron excepciones (desviaciones respecto de h_1). La nueva hipótesis, h_2 , da razón de esas excepciones, que se interpretan a su vez.

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 apreciarla 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 sin 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 medida? 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 (cfr. Secc. 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 (cfr. Secc. 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 "aquello 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 Secc. 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 metanomológico, 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, reimpresso en *Mysticism and Logic*, London, Penguin Books, 1953, pág. 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 cfr. M. BUNGE, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, especialmente chaps. 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. Examinar la crítica del antinomianismo —la negación de leyes de la historia— por A. TOYNBEE. Cfr. su *A Study of History*, en el *Abridgment* de los vols. VII-X por D. C. SOMMERWELL, New York and London, Oxford University Press, 1957, págs. 265 ss. *Problema en lugar de ése*: ¿Qué entienden los

historiadores por "anómalo"? ¿Algo que no satisface ley alguna o algo que desconfirma una ley que, por lo demás, estaba bien establecida?

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 (cfr. Secc. 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? Cfr. W. WHEWELL, *Philosophy of the Inductive Sciences*, 2.^a ed., London, Parker, 1847, I, pág. 253.

6.8.8. H. REICHENBACH, en sus *Elements of Symbolic Logic*, New York, Macmillan, 1947, pág. 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 probabilitarias no cubrirían más que acontecimientos necesarios, a menos que estipuláramos caprichosamente que 'enunciado nomológico' no designa una fórmula legaliforme probabilitaria. 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"? Cfr. J. VENN, *The Logic of Chance*, 3.^a ed., 1888; New York, Chelsea Publishing Co., 1962, chap. V, y M. BUNGE, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, chap. 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, pág. 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 teóricas 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

- W. ROSS ASHBY, *An Introduction to Cybernetics*, London, Chapman and Hall, 1956, chap. 7.
- P. W. BRIDGMAN, *Dimensional Analysis*, New Haven, Conn., Yale University Press, 1922.
- M. BUNGE, *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, chap. 4.
- , *La causalidad*, Buenos Aires, Eudeba, 1960, Cap. 10.
- , *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, chaps. 9-12.
- , *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.
- , *Economía y filosofía*, Madrid, Tecnos, 1982.
- F. EXNER, *Vorlesungen über die Physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, 2.^a ed., Leipzig y Wien, Deuticke, 1922, parte IV.
- W. STANLEY JEVONS, *The Principles of Science*, 2.^a ed., 1877, New York, Dover Publications, 1958, chaps. XXI, XXII, XXIX y XXXI.
- I. KANT, *Prolegómenos a toda metafísica futura que quiera presentarse como ciencia*, varias eds.
- W. KNEALE, *Probability and Induction*, Oxford, Clarendon Press, 1949, seccs. 18-20.
- H. MEHLBERG, *The Reach of Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1958, Part II, chap. 2.
- J. STUART MILL, *A System of Logic*, 8.^a ed., 1875, Longmans, Green and Co., 1952, Book III, chap. IV.
- K. R. POPPER, *The Open Society and its Enemies*, 4.^a ed., London, Routledge and Kegan Paul, 1962, I, chap. 5.
- , *The Poverty of Historicism*, 2.^a ed., London, Routledge and Kegan Paul, 1960, seccs. 20 y 26-28.
- E. SCHRÖDINGER, *Science: Theory and Man*, 1935; New York, Dover Publications, 1957, chap. VI.
- G. U. YULE and M. G. KENDALL, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 14.^a ed., New York, Hafner, 1950, chaps. 26 y 27.

CAPÍTULO 7

TEORÍA: ESTATICA

- 7.1. El Sistema Nervioso de la Ciencia
- 7.2. La Unidad Conceptual
- 7.3. Deducibilidad
- 7.4. Teoría Abstracta e Interpretación
- 7.5. *Probabilidad: Cálculo, Modelos, Interpretaciones erróneas
- 7.6. *Desiderata Formales

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 consciente, 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