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 decubrimiento 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: $x = y =_{df} (P)\,[P(x) \leftrightarrow P(y)]$.) Este principio vale de modo no-vacío para objetos conceptuales; y vale de modo vacío para objetos materiales, porque la condición no se cumple en este caso nunca con exactitud. En el mundo real la identidad es siempre parcial, y nuestro principio de unicidad de todo existente sólo admite la *identidad parcial,* la identidad en un respecto al menos, y la *identidad aproximada,* que es la identidad en todos los 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 respectos, 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(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

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

'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.

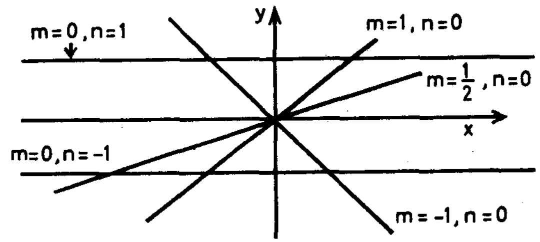


FIG. 6.1. La función lineal [6.1] representa un conjunto infinito de rectas de un plano.

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

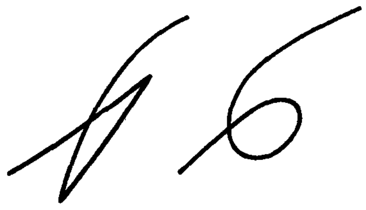
$$s(t) = vt + s_0 \qquad [6.2]$$

(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 infinidades 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 infinidades. 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 movimento 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 antecedente y de la variable individual queda justificado por razones prácticas, pero puede dar lugar a equívocos.

Obsérvese que nuestro esquema legaliforme no afirma que todos los embriones tengan el mismo tamaño inicial, ni tampoco, por tanto, que tengan todos el mismo tamaño a la misma edad: pues, por lo que sabemos hoy día, no hay dos huevos fecundados que tengan exactamente el mismo número de moléculas. O sea: nuestro esquema legaliforme no es del tipo "Siempre que ocurre *A* ocurre *B*", en el cual '*A*' y '*B*' designan casos particulares. Esas generalizaciones son más propias del conocimiento ordinario que de la ciencia. Las leyes científicas no afirman conjunciones de hechos, sino relaciones entre rasgos (variables) seleccionados; y tampoco afirman la igualdad entre individuos, sino la invariancia de ciertas relaciones, independientemente de los cambios que pueda haber en los valores de las variables individuales. En particular, un enunciado legaliforme que suponga tiempo no tiene por qué ser una ley de recurrencia: los esquemas recurrentes no son más que una subclase propia de los esquemas en general. Todo lo que afirma una ley científica es que hay diferencias individuales que cumplen en ciertos respectos ciertos esquemas o ciertas estructuras. Dicho brevemente: una ley es 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 constricción social, pero se sabe poco sobre esto. Esbozar la evolución probable del concepto de ley de la naturaleza desde la Antigüedad hasta nuestra época. Pueden verse perspectivas interesantes en E. ZILSEL, "The Genesis of the Concept of Physical Law", *Philosophical Review, 51,* 245, 1942, y J. NEEDHAM, *Science and Civilization in China,* Cambridge University Press, 1956, vol. II, 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.

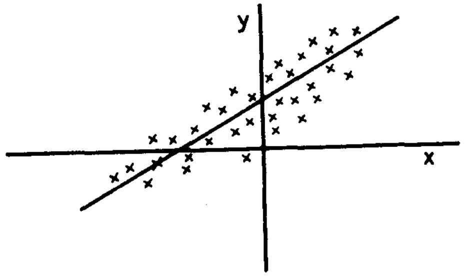
6.2. La Búsqueda de la Ley

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 democrítea 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 variables fundamentales es inseparable de la de relaciones constantes y de alto nivel entre ellas, o sea, de la búsqueda de leyes ricas. Por eso los esfuerzos de muchos científicos conductistas por descubrir por observación las variables básicas sin formular hipótesis acerca de relaciones legaliformes es una pérdida de tiempo.

La más sencilla relación entre dos variables es, naturalmente, la relación de independencia recíproca, o sea, la falta de relación sistemática. He aquí un ejemplo de enunciado de irrelevancia recíproca entre dos variables: "La aceleración de un cuerpo en caída libre no depende de la masa". ¿Puede aspirar este enunciado a ser una ley científica en el sentido caracterizado en 6.1? Sin duda, puesto que la relación de independencia o irrelevancia es un tipo de relación, y no debe confundirse con la falta de relación en sentido general. Cuando decimos que y es independiente de x significamos que los valores de y siguen siendo los mismos cualesquiera que sean los valores que tome x; entre variables recíprocamente independientes pueden establecerse relaciones, lo cual no puede hacerse entre variables no-relacionadas: ya el enunciado de que dos variables no están 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-



$$r(x_i\, y) = \frac{(1/N)\Sigma(x-x_i)(y-y_i)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

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

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

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

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′

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.

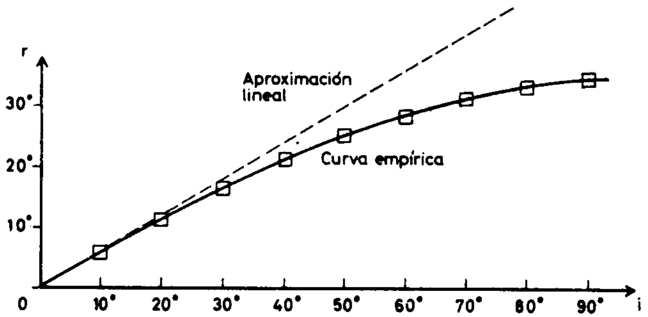


Fig. 6.4. Representación y generalización de la Tabla 6.1, referente a la relación entre el ángulo de incidencia *i* y el ángulo de refracción *r*. Cada cuadrado representa un dato empírico.

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: $\text{sen}\ i\ /\ \text{sen}\ r = n = \text{const.}$ Esta ley vale, con cualificaciones, no sólo para el particular par de sustancias considerado en el

ejemplo, sino para todos los pares de medios trasparentes 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 teoréticamente 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, sen nx); en segundo lugar, contienen constantes puramente numéricas sin significación factual.

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

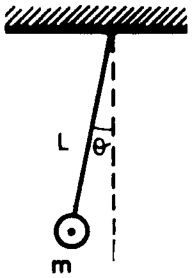


FIG. 6.5. Un modelo teorético de un péndulo que oscila en el vacío con oscilaciones pequeñas.

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 teorético, 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 suspectas 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, $f(\theta) \cong 6$. Y la mecánica analítica nos muestra que, en esas mismas condiciones, esa constante empírica es exactamente 2π, una constante que, para grandes ángulos de oscilación, tiene que sustituirse por una función del ángulo. Es obvio que ningún cúmulo de datos experimentales, por grande que fuera, habría podido dar nunca ni la raíz cuadrada ni el valor exacto de $f(\theta)$.

En conclusión: hay determinadas técnicas para condensar y generalizar datos, o sea, para obtener *enunciados legaliformes de bajo nivel.* Pero esos métodos (*i*) presuponen que se dispone ya de los conceptos relevantes (variables relevantes), (*ii*) utilizan modelos teoréticos 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 teoréticos y de leyes no es una actividad normada y orientada por reglas.

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

PROBLEMAS

6.2.1. Los sociólogos se complacen en llamar 'leyes' a enunciados como el siguiente: "La presión que experimentan los miembros de un grupo para comunicarse entre ellos depende de la discrepancia de opinión percibida sobre un tema entre los miembros del grupo y de la presión de los miembros del grupo para conseguir la uniformidad de opinión". ¿Es 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: $s = \text{sen}^{-1}$ (sen 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 los monos antropoides y de los Homínidos es $\dfrac{2.1.2.3}{2.1.2.3}$". Cfr. el libro clásico 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:

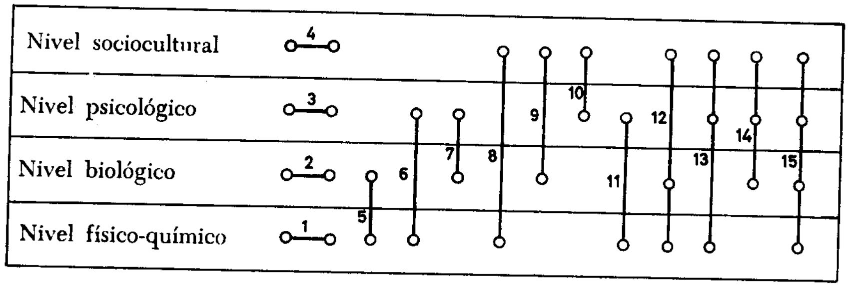
Variables físicas, φ_i, por ejemplo, la intensidad de la luz.
Variables biológicas, β_i, por ejemplo el sexo.
Variables psicológicas, ψ, por ejemplo, el impulso.
Variables sociológicas, σ_i, por ejemplo, la división del trabajo.

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. $\varphi_i = F\ (\varphi_j)$	*Leyes físicas y químicas*	LEYES INTRANIVEL
2. $\beta_i = F\ (\beta_j)$	*Leyes biológicas*	
3. $\psi_i = F\ (\psi_j)$	*Leyes psicológicas*	
4. $\sigma_i = F\ (\sigma_j)$	*Leyes sociológicas*	
5. $\beta_i = F\ (\varphi_j)$	*Leyes biofísicas y bioquímicas*	LEYES INTERNIVELES
6. $\psi_i = F\ (\varphi_j)$	*Leyes psicofísicas y psicoquímicas*	
7. $\psi_i = F\ (\beta_j)$	*Leyes psicobiológicas*	
8. $\sigma_i = F\ (\varphi_j)$	*Leyes sociofísicas*	
9. $\sigma_i = F\ (\beta_j)$	*Leyes sociobiológicas*	
10. $\sigma_i = F\ (\psi_j)$	*Leyes sociopsicológicas*	
11. $\psi_i = F\ (\varphi_j, \beta_k)$	*Leyes psicobiofísicas*	
12. $\sigma_i = F\ (\varphi_j, \beta_k)$	*Leyes sociobiofísicas*	
13. $\sigma_i = F\ (\varphi_j, \psi_k)$	*Leyes sociopsicofísicas*	
14. $\sigma_i = F\ (\beta_j, \psi_t)$	*Leyes sociopsicobiológicas*	
15. $\sigma_i = F\ (\varphi_j, \beta_k, \psi_e)$	*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 12º está constituido por las leyes de la ecología social. El 13º 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 metanomológico, con la condición de que nos demos cuenta de que es una hipótesis metafísica (ontológica) muy fuerte. Pero sigamos con nuestros ejemplos.

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

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

Ley psicológica: "Los esquemas de comportamiento innatos son más estables que los adquiridos". Aquí es conveniente añadir la variable individual, una x cuyo campo de variabilidad sean todos los organismos. Si no se hace así, puede entenderse que ese enunciado significa que los esquemas adquiridos por cualquier organismo son menos estables que los esquemas innatos de ese mismo organismo (lo cual es verdad) o de diferentes organismos (lo cual es falso). La forma desarrollada es pues: "Para todo x, para todo y y para todo z, si x es un organismo e y es un esquema de comportamiento innato de x y z es un esquema de comportamiento adquirido de x, entonces y es más estable que z". Simbólicamente: $(x)\ (y)\ (z)\ [O(x)\ \&\ I(y)\ \&\ A(z) \rightarrow E(x, y, z)]$.

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

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

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

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

El problema siguiente era "descubrir" (o sea, concebir o imaginar) la ley que relacionara las tres variables. (Probablemente se le habrán ocurrido varias hipótesis con otras variables distintas de las mencionadas, y probablemente también descartó las variables irrelevantes después de someter a contrastación alguna de esas otras hipótesis. Pero no nos quedan informaciones acerca del proceso de invención y descubrimiento.) Tal vez el primer paso consistiera en suponer que la presión, la flotación y la cantidad de líquido desplazado eran todas fuerzas de la misma clase, expresables como pesos. Entonces el problema inicial se le replantearía del modo siguiente: ¿Cuál es el peso que equilibra la pérdida de peso $P - P_a$ de un sólido que pesa P en el vacío y P_a sumergido en el fluido? La pregunta era pues: $(?X)\ (P - P_a = X)$. Es claro que X era la flotación, es decir, la presión de abajo a arriba ejercida por el fluido sobre el cuerpo flotante y causa de la flotación de éste. La idea de que esa fuerza o presión es un peso de alguna clase estaba presupuesta por la pregunta misma, y se seguía del principio de homogeneidad dimensional (que Arquímedes, naturalmente, no ha formulado). El problema siguiente consiste en hallar el peso de X.

Parece claro que X no es un peso del cuerpo, puesto que el problema contiene ya los dos pesos relevantes de dicho cuerpo, a saber, P y P_a. Tampoco puede ser X el peso de todo el líquido, puesto que, dentro de amplios límites, la flotación es independiente de la cantidad de líquido. Podemos entonces suponer que X está relacionado con el peso del líquido desplazado por el sólido. Eso no es una hipótesis, sino más bien un esquema hipotético, o una clase infinita de hipótesis, mientras no se precise la relación. Probemos con la conjetura más simple, a saber, que X es igual al peso del líquido desplazado. Si esa hipótesis supera la contrastación, la mantendremos; si no la supera, probaremos con otra conjetura más complicada. Consiguientemente, introducimos en "$P - P_a = X$" la hipótesis "$X = P_f$", en la cual 'P_f' representa el peso del fluido desplazado. Así obtenemos: $P - P_a = P_f$. O sea: "Si un cuerpo sólido se sumerge en un fluido, pierde peso, y su pérdida de peso equivale al peso del fluido desplazado". Como es corriente, la fórmula matemática 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. Luego pesamos el fluido desplazado, y obtenemos el número P_f. Luego realizamos la sustracción $P - P_a$, lo cual es una operación conceptual, y comparamos ese número con P_f, lo cual es otra vez una operación conceptual. Si la diferencia entre los dos números es menor que el error experimental admitido, concluimos que el principio de Arquímedes ha sido confirmado para el par sólido/fluido elegido. La generalización del principio, primero para todos los pares de una clase, luego para todos los pares posibles, se hizo probablemente después de probar con unos cuantos pares. Aún mejor contrastación del principio es su uso continuo como medio para obtener pesos específicos, porque esos valores pueden comprobarse independientemente mediante el procedimiento directo de pesar y hallar el volumen de los sólidos y dividir luego el peso por el volumen.

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

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

En los manuales de física no se encontrará más que el consecuente de 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 casualidad. Se ha asumido más bien una actitud constructiva a este respecto, que consiste en no buscar excepciones ni acumular confirmaciones con la esperanza de aumentar el grado de verdad de la hipótesis por el procedimiento de reforzar constantemente su grado de confirmación. La actitud constructiva ha consistido en intentar *teoretizar* el principio, o sea, en insertarlo en un cuerpo de teoría. Y hace mucho tiempo que eso se ha conseguido: el "principio" de Arquímedes es hoy día un teorema derivado de leyes fundamentales de la mecánica, las cuales le suministran un apoyo del que carecería si siguiera siendo una conjetura aislada empírica o semiempírica. Repasemos una derivación elemental del "principio": el ejercicio será instructivo.

Consideremos un líquido homogéneo en reposo e imaginemos en su seno una región limitada por la superficie imaginaria S (cfr. Fig. 6.6). Por

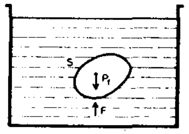


Fig. 6.6. Una parte del líquido en equilibrio con el resto: la presión hacia arriba, F, equilibra el peso (hacia abajo), P_f.

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

¿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 ésas: 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, $A(h) =_{df} \text{Card}\,[D(h) \cup I(h)]$. Examinar esa sugerencia. En particular, considerar separadamente los cuatro casos que se obtienen al suponer que alguno de los conjuntos —el de los apoyos directos, D, y el de los apoyos indirectos, I— es finito o infinito. Si $D(h)$ o $I(h)$ son infinitos, ¿serán conjuntos de apoyos reales, o más bien de apoyos potenciales? En este último caso, ¿cómo pueden determinarse?

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

6.4. Forma y Contenido

El requisito lógico más obvio que imponemos a las hipótesis para considerarlas leyes es la *generalidad en algún respecto y en alguna medida*. (El requisito de estar bien formadas queda recogido ya en la decisión de considerar una conjetura como una hipótesis científica.) Exigimos, pues, que por lo menos una de las variables que se presentan en la fórmula de la ley tenga prefijado el operador 'para todo', o el operador 'para casi todo', o el operador 'para la mayoría de'; si ocurre lo primero, o sea, si la ley es una hipótesis estrictamente universal, entonces solemos prescindir de mencionar explícitamente el cuantificador. Si la ley se refiere a un individuo (como ocurre con las leyes geofísicas, que se refieren a nuestro planeta), exigiremos que el enunciado exprese el comportamiento regular del individuo indicado por un cuantificador universal respecto del tiempo; el cuantificador puede ser restringido o no-restringido, y también puede estar explícito o tácito; pero tiene que estar: porque si no, la proposición sería particular, no general. Si la fórmula de la ley no se refiere a un individuo, sino a una clase, podemos tolerar la cuasi-generalidad, como en el caso "La mayoría de las sales de los metales alcalinos son muy solubles en agua", o "La mayoría de los mamíferos tienen pelos". 'La mayoría de' y 'casi todos' no han merecido nunca el respeto de los lógicos, que los tratan junto con 'hay al menos un'; pero en la ciencia su 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 mas curiosos son los manifiestamente estadísticos. Las *leyes estadísticas* más simples son tal vez las de porcentajes, como "El 50 % de los automóviles que tienen más de cinco años están fuera de uso en los Estados Unidos de América". Esta generalización empírica no se refiere a cada individuo de una determinada clase: los porcentajes (o, lo que es lo mismo desde este punto de vista, las frecuencias relativas) no son propiedades de individuos, sino propiedades no hereditarias, no-distributivas, o sea, propiedades colectivas que no pueden distribuirse entre los miembros de la colección. Un breve análisis dejará esto en claro, suscitando, por otra parte, importantes cuestiones. La forma de nuestra generalización estadística es "La fracción f de los A son B". Sean 'Card (A)' y 'Card (B)' las expresiones que designan los números de los miembros, o cardinalidad, de los conjuntos A y B respectivamente. En nuestro caso, Card (A) es el número de automóviles de más de cinco años, y Card (B) es el número de automóviles fuera de uso, sean viejos o no. Entonces el conjunto de los automóviles que son a la vez de cinco años (A) y fuera de uso es la intersección $A \cap B$. Y la fracción de los automóviles fuera de uso en la clase de referencia (automóviles viejos) es por tanto 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 teorético 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 probabilitario*, 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: $A \neq \phi \rightarrow P(x \epsilon A \cap B / x \epsilon A) = p$. 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 teorético, 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 teoréticos, aunque puede tenerlos, mientras que los enunciados de probabilidad no pueden dejar de ser por lo menos semi-teoréticos, 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 probabilitario 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 probabilitario 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 probabilistas* (que contienen probabilidades o parámetros que se presentan en distribuciones probabilitarias). Los primeros pueden ser enunciados no-teoréticos, o, más bien, semi-teoréticos, mientras que los últimos son enunciados teoréticos; 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 probabilitarios 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 ésa es una restricción muy severa que no puede satisfacerse por fórmulas que contengan variables continuas. Por ejemplo, el enunciado "La gravedad es aproximadamente constante en todos los puntos de esta habitación" no puede desarrollarse como conjunción de proposiciones singulares cada una de las cuales se refiera a un punto de dicho volumen, porque ese conjunto de puntos es un conjunto continuo. Esta limitación de los cuantificadores universales a universos numerables no tiene, naturalmente, relevancia para los enunciados sobre cualquiera. En cambio, por lo que hace a significación manifiesta, '$P(x)$' carece de sentido aunque se especifique el valor de P: no tiene referencia o, si se prefiere decirlo así, su correlato es el individuo sin especificar designado por 'x'. Si una fórmula no tiene sentido, entonces

tampoco es contrastable, puesto que para averiguar si algo tiene efectivamente una propiedad dada o no la tiene, es necesario que esa cosa tenga esa propiedad o no la tenga. Apliquemos estas consideraciones a un elemental enunciado legaliforme.

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

$$s(t) = \frac{1}{2} g t^2 + v_0 t + s_0 \qquad [6.3]$$

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 "$—p \vee q$" y "$—(p \wedge —q)$". 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 teorético-empírica.) Por esa razón es el condicional una forma conveniente para la formulación de leyes.

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

Dicho de otro modo: no nos interesa acumular verdades irrelevantes, verdades referentes a entidades inexistentes o a condiciones imposibles. Cuando en el curso de la investigación formulamos un condicional, presuponemos normalmente la posibilidad de su antecedente, o sea, suponemos, tácita o explícitamente, que el antecedente de un condicional factual puede

realizarse físicamente. No ocurre así, desde luego, con enunciados cuyas consecuencias lógicas queremos explorar: en esos casos se permite el científico la mayor libertad. Pero la anterior descripción vale sin ninguna duda para el caso de los enunciados legaliformes. Consideremos una ley $L(x)$ referente a un objeto indeterminado x, de una cierta clase; esa ley valdrá en ciertas condiciones $C(x)$, pues no es común que una ley valga incondicionalmente. Lo que afirmamos es, pues, que si x satisface la condición C, entonces x satisface L también:

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

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, completaríamos [6.4] obteniendo

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

En esa fórmula, el signo de inferencia invertido, '$\dashv$', 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:

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

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

Las fórmulas del tipo [6.6] pueden llamarse condicionales satisfactibles. A pesar de serlo, también pueden resultar vacíos: la condición previa puede no resultar exactamente satisfecha, sino sólo aproximadamente. Por ejemplo, la ley de conservación de la energía no vale más que para sistemas cerrados (aislados), pero sólo el universo entero es un sistema perfectamente cerrado; cada una de sus partes está abierta en algún respecto. A la vista de esto, es claro que la presuposición de satisfacción posible del antecedente de una ley tiene que entenderse de un modo cualificado, a saber, así: "Es posible que haya al menos un sistema tal que cumpla o satisfaga *aproximadamente* la condición C". Pero entonces podría decirse exactamente lo mismo del consecuente L: o sea, tanto los enunciados legaliformes cuanto sus condiciones previas son satisfactibles aproximadamente. Sin embargo, este enunciado metanomológico se refiere a la verdad de los enunciados legaliformes, y viene por tanto después de su contrastación, la cual tiene a su vez lugar después de la formulación de aquellos enunciados. Por tanto, no afecta a nuestra discusión de la forma de los enunciados legaliformes. En resolución: podemos tomar [6.6] como forma típica de los enunciados legaliformes universales, entendiendo que, dicho estrictamente, esa forma refiere a un modelo más o menos idealizado de la porción de realidad que pretende recoger: la ley se aplica exactamente al modelo, y más o menos aproximadamente al correlato real del modelo. Volveremos a hablar de esto en la 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

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

('$D^2s(t)$', que también se escribe 'd^2s/dt^2', es la expresión abreviada de la derivada segunda de la distancia respecto del tiempo. [6.7] es una ecuación diferencial. La mayoría de los enunciados legaliformes de las llamadas ciencias exactas tienen la forma de ecuaciones diferenciales; pero los enunciados más fuertes son ecuaciones integrales.) No se encuentra en [6.7] ninguna referencia a *circunstancias especiales*, como la posición inicial y la velocidad inicial. En general, los enunciados legaliformes de nivel alto no contienen referencias a características individuales específicas, ni tampoco a circunstancias especiales. Para conseguir que esos enunciados legaliformes de alto rango tengan contacto con datos relativos a los rasgos individuales de la realidad hay que someterlos a una profunda transformación formal, como la que lleva de [6.7] a [6.3], y hay que complementarlos con alguna información empírica, como, por ejemplo, los valores particulares de los parámetros g, v_0 y s_0, en el lugar concreto en que se están realizando las mediciones. Sólo un enunciado legaliforme de nivel bajo, como [6.3], puede absorber toda la información específica que es necesaria para compararlo con circunstancias especiales: los enunciados legaliformes de alto nivel quedan en cambio lejos de la experiencia. (En particular, las ecuaciones diferenciales tienen que integrarse antes de poder someterse a contrastación. El proceso de integración es precisamente el que introduce parámetros empíricamente determinables, como v_0 y s_0.) 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 actívdad 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 montón de datos, por precisos, numerosos y relevantes que sean, en un enunciado de nivel alto. Lo único que puede inferirse de datos son enunciados del nivel más bajo, o sea, generalizaciones empíricas; y ni siquiera eso de un modo sin ambigüedades, sino de tal forma que esos enunciados quedarán aislados mientras no se invente algún principio unificador más fuerte (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 = $ cons." A menos que se suministre el contexto, no se trata de una ley física, sino de una fórmula matemática —y eso siempre que presupongamos que 'p' y 'V' son variables numéricas. Formular la ley de una forma completa, incluyendo una referencia a su universalidad espacio-temporal, lo cual, dicho sea de paso, es, en el caso de esta ley, una suposición falsa.

6.4.5. Simbolizar los siguientes esquemas de leyes estocásticas: (*i*) "El valor B medio de los A es b". (*ii*) "La dispersión de los valores B de A 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. BUNGE, *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 ése:* 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:

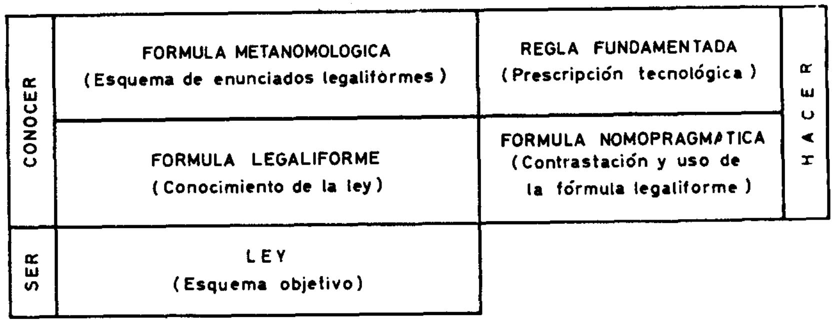


FIG. 6.7. Significaciones de 'ley' en la ciencia.

'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: $L_1, L_2, \ldots, L_n$. Ese movimiento es zigzagueante, pero muestra a largo término una tendencia al perfecccionamiento: 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-

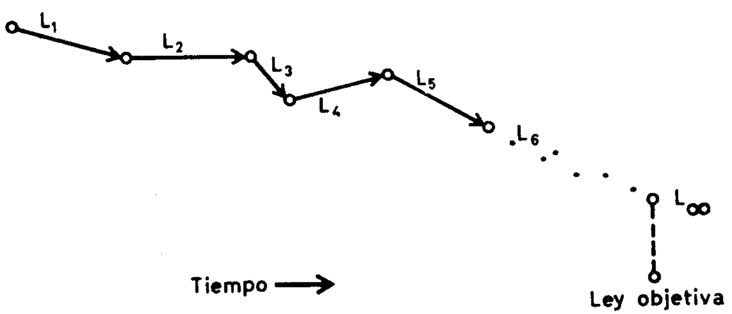


FIG. 6.8. Representación simbólica de los pasos sucesivos hacia el límite ideal del enunciado legaliforme completamente verdadero, L_∞. Obsérvese la regresión temporal L_5, probablemente debida al defecto de una mala filosofía de la ciencia.

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 teorética 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 puñadito 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

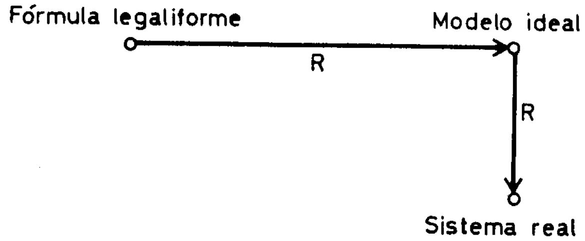


FIG. 6.9. Los correlatos de una fórmula legaliforme: el inmediato y el mediato.

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 eejmplo, 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 teorética de este tipo exige una relación con el marco de referencia del laboratorio. La elección del marco propio para fines teoréticos 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).

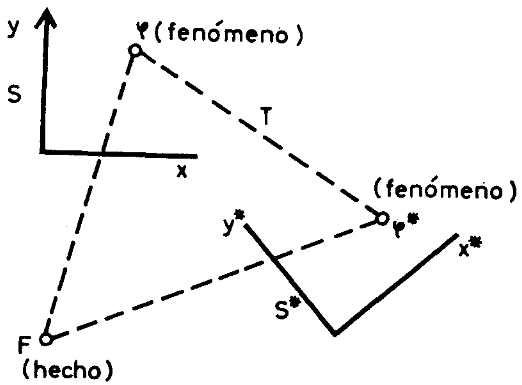


FIG. 6.10. Un solo hecho, F, se ve y se describe como fenómeno φ respecto del marco de referencia R, y como otro fenómeno diferente, φ^*, respecto del sistema de referencia diferente R^*. Por lo que hace a la transformación T que relaciona φ y φ^*, cf. 6.7.

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

Como la ciencia aspira a la objetividad, tiene que aspirar al mismo tiempo a leyes de nivel alto, o sea, a fórmulas legaliformes independientes de la apariencia y de las circunstancias. La introducción de conceptos no-observacionales y de enunciados legaliformes diafenoménicos no es, pues, sólo un expediente impuesto por la inobservabilidad de la mayor parte de la realidad, sino también un componente de la búsqueda de 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 Wals, 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

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

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*))?

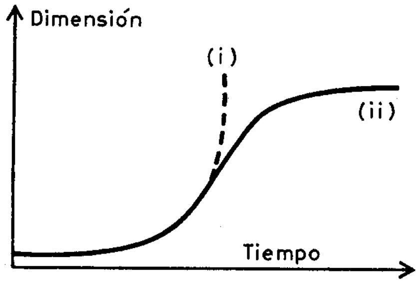


FIG. 6.11. Crecimiento de sistemas de unidades auto-reproductoras. (*i*) La ley del crecimiento exponencial; (*ii*) la ley sigmoide del crecimiento.

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 experiencia actual y/o potencial, o bien *b*) reglas que nos permiten actuar. (*v*) *Naturalismo:* las leyes son las vías del ser y del devenir; son, simplemente; y las leyes objetivas quedan aproximadamente recogidas por los enunciados legaliformes.

6.5.6. Comentar el siguiente texto de la obra de G. ORWELL *1984*, 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 comprobarse 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

x	y
1	—8
—2	—2
5	9
3	1
—7	0

dos variables tienen en general valores diferentes en un instante dado, y, además, no están correlatadas (como puede observarse), sin embargo "obedecen" a la misma *ley de promedios*. Obsérvese que al construir nuestras generalizaciones estadísticas hemos comprimido datos. En general, al construir promedios eliminamos información, y de tal modo que esa información no puede recuperarse por el mero análisis de la generalización estadística construida. ¿Es este procedimiento coherente con la doctrina de que las leyes científicas son generalizaciones fieles de observaciones? *Problema en lugar de ése:* Cuando uno huye del ruido de los *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 suministrar la necesidad que Hume negó a las leyes.) En cuarto lugar, deseamos poder hacer *predicciones* dignas de confianza por medio de nuestros enunciados legaliformes, lo cual no es posible si éstos no expresan leyes. Estos puntos quedarán más claros con el examen de un par de ejemplos.

Ejemplo de un enunciado que no expresa una ley: series temporales al azar. Los índices de matrimonios, el número de accidentes de aviación y muchas otras variables son variables estadísticas casuales. Dicho de otro

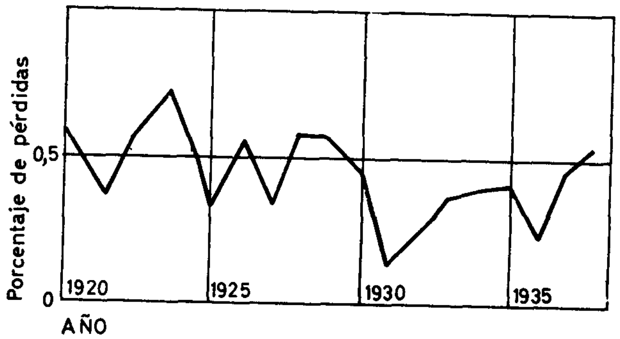


FIG. 6.12. Naves británicas naufragadas entre 1920 y 1938: serie casual. Según G. U. YULE y M. G. KENDALL, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 1950, pág. 614.

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 variancia media del número de esos máximos y mínimos es $\overline{\sigma^2(p)} = (16n-29)/90$. Si no se cumplen aproximadamente esas regularidades, podemos sospechar que la serie no es al azar, y podemos entonces buscar en ella una tendencia sistemática: por tanto, la aplicación de esas dos fórmulas constituye una *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 nacimentos, 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 teoréticas de bajo nivel: son sistematizables, mientras que las series temporales casuales no lo son. Puede pensarse que acaso el fracaso de los historiadores en la búsqueda de leyes históricas se deba a que, por fijar su atención en grandes acontecimientos observables, no consiguen más que series temporales casuales. Y podemos preguntarnos si no descubrirían leyes históricas por el procedimiento de proponer hipotéticamente mecanismos ocultos, como hacen el físico y el biólogo. En última instancia, el que toda serie de acontecimientos por la que nos 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 conocimiento común: "Casi todos los perros nacen con rabo". En general, tanto la generalización empírica cuanto sus posibles excepciones (posibles según la teoría, aunque aún no se hayan observado nunca) caen bajo la ley teorética. Y esta ley mostrará que, salvo que ocurra un accidente (una mutación), es necesario para cada cachorro el tener rabo.

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

La figura 6.13 esquematiza la transformación de las generalizaciones empíricas en leyes teoréticas de nivel bajo que contienen ya conceptos

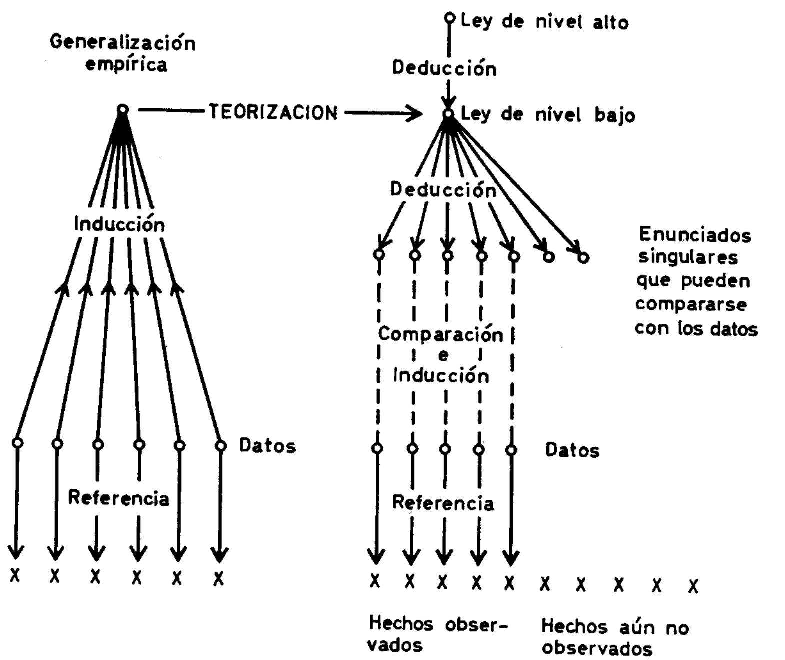


FIG. 6.13. (*i*) La generalización empírica como resumen de datos de observación. (*ii*) La transformación de la generalización empírica en una ley de nivel bajo (un teorema de una teoría).

teorética. 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, quc 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

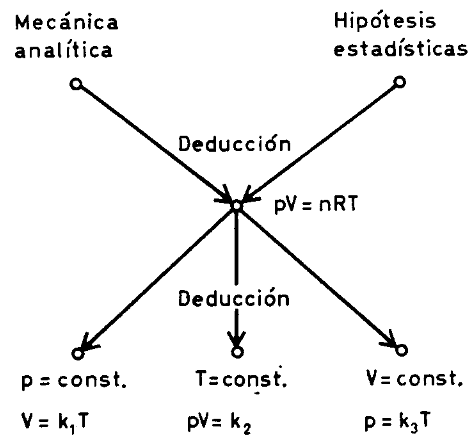


FIG. 6.14. La ley general de los gases ideales subsume tres leyes especiales, cada una caracterizada por un parámetro.

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, $h \to e$, 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). Éste es un buen procedimiento para *condensar* y *generalizar* información empírica, pero ni produce las construcciones de alto nivel necesarias para tener una teoría ni consigue la necesidad que se supone expresan los enunciados legaliformes. En realidad, una serie temporal, como la variación casual del volumen total de ruidos en el Piccadilly Circus, puede trazarse como una función del tiempo, aunque no hay gran

conexión —o no hay ninguna— entre los ruidos de la secuencia. Una tal función matemática no puede recogerse en una teoría, no puede por tanto servir para efectuar previsiones. No hace falta decir que las calculadoras se encuentran con las mismas limitaciones. Su única ventaja consiste en que pueden manejar masas ingentes de datos; pero no se hallan leyes por el procedimiento de elaborar meramente los datos; las cosas suceden más bien al revés: sólo a la luz de leyes pueden buscarse datos relevantes. Diremos, en conclusión, que ni la matematización ni la inducción llevan por sí mismas al establecimiento de leyes teoréticas.

Podemos ahora formular explícitamente los requisitos que hemos impuesto tácitamente a una hipótesis para considerarla una ley científica. El primero es la *generalidad auténtica* en algún respecto (o sea, respecto de alguna variable) y con algún alcance (o sea, entre 'la mayoría de' y 'todos'). (El calificativo 'auténtica' debe excluir enunciados pseudouniversales como "$(x)[x = c \to P(x)]$".) 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 metaleyes y el carácter de ley.

PROBLEMAS

6.6.1. Se supone generalmente que los enunciados legaliformes son verdaderos o, por lo menos, susceptibles de demostración como tales. 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 teorética de nivel bajo. Utilizar una buena historia de la ciéncia.

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

6.6.8. Los enunciados universales sintéticos (o sea, no analíticos) pueden asegurar inferencias contractuales o pueden carecer de esa capacidad (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 Secc. 6.4. (la que se refiere a automóviles fuera de uso) satisface ese requisito. Intentar averiguar si dicha potencia contrafactual no podría más bien utilizarse para caracterizar generalizaciones cuya verdad no sea aleatoria, y propiamente en el caso de que sepamos que no pueden ser verdaderas por puro azar.

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

6.6.10. Siempre que formulamos una relación entre dos o más variables referentes a propiedades de una clase de sistemas estamos presuponiendo que la tal relación vale *coeteris paribus*. Pregunas: 1. ¿Qué significa eso desde el punto de vista de las variables? 2. ¿Es verdad —como suele afirmarse— que la condición *coeteris paribus* (igualdad del resto de las circunstancias) es una limitación característica de las ciencias sociales y que no conocen las ciencias físicas? *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 *ceiiinosssttuu*, 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

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

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':

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

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 solucions $S(v)$. 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:

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

(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

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

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

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

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

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

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

Algunas fórmulas metanomológicas del género prescriptivo establecen las formas posibles de las fórmulas legaliformes; éste es el caso de las fórmulas rivales: "Las ecuaciones fundamentales de la física tienen que ser ecuaciones integrales" y "Las ecuaciones fundamentales de la física tienen que ser ecuaciones diferenciales". Otras fórmulas se refieren a la naturaleza de las variables relacionadas por las fórmulas legaliformes; por ejemplo: "En una fórmula pueden aparecer variables de todo tipo, siempre que se asignen reglas de interpretación de las mismas, de tal modo que la fórmula tenga 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 teorético en biología y en las ciencias del hombre. Esos peligros no pueden evitarse más que considerando las fórmulas metanomológicas como *guías provisionales* que habrá que corregir en cuanto que desvíen o restrinjan el alcance de la investigación. Sea de ello lo que fuere, las fórmulas metanomológicas obran realmente como constricciones puestas a las fórmulas legaliformes posibles: no bastan para obtener enunciados legaliformes, pero funcionan como indicaciones heurísticas, generalmente de tipo negativo.

Digamos, para terminar, que la división de las fórmulas metanomológicas en descriptivas y prescriptivas puede también alterarse. Así, por ejemplo, en vez de decir 'Las fórmulas legaliformes *deben* tener la propiedad *P*', podemos decir: 'Las fórmulas legaliformes *propias* [o correctas, o bien concebidas] *tienen* la propiedad *P*'. La palabra 'propias' es aquí a la vez

descriptiva y suasoria, como 'buenos' en 'Los niños buenos se van pronto a la cama'. Lo importante desde un punto de vista pragmático es la función realmente efectuada por un enunciado, más que su forma lingüística. Así, en el caso de las fórmulas metanomológicas, algunas han tenido tanto éxito que se las considera como paradigmas dignos de imitación; su mera enunciación tiene fuerza prescriptiva, cualquiera que sea el tenor lógico de la misma, al modo que obra un anuncio de la forma "*x* fuma *y*". De todos modos, la equivalencia pragmática entre algunas normas y algunos enunciados de mucho prestigio e influencia no debe hacernos olvidar que las normas no se someten a contrastación del mismo modo que las proposiciones: las contrastaciones que tienden a establecer la fecundidad (o la adecuación a ciertos fines) son diferentes de las que buscan el establecimiento de la verdad.

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

PROBLEMAS

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

6.7.2. 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 lógica 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 teorética. 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 sequoia. 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 sequoias son gigantes" mediante el hallazgo de un esquema exacto y amplio que admitiera la posibilidad de sequoias 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 teorética 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

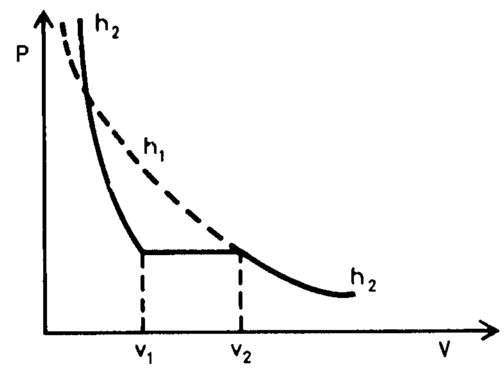


FIG. 6.15. Compresión isotérmica de un gas real. Las primeras observaciones eran compatibles con h_1. Luego se descubrieron excepciones (desviaciones respecto de h_1). La nueva hipótesis, h_2, da razón de esas excepciones, que se interpretan a su vez.

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 apreciarlo la complejidad de nuestras teorías. Por tanto, debemos suponer que la legalidad, si realmente es aplicable en principio, se aplica necesariamente *a cada hecho particular,* por complejo que sea. No ocurre así con conjuntos *arbitrarios de hechos,* por ejemplo, con los conjuntos de acontecimientos que atraen el interés del historiador. Sería absurdo suponer que cualquier secuencia dada de acontecimientos que solicite nuestra imaginación "obedecerá" *qua* secuencia a una determinada ley o un determinado conjunto de leyes. Podemos perfectamente suponer que cada miembro de esa secuencia será según leyes, pero la secuencia en su totalidad no tiene por qué serlo: será según leyes sólo en la medida en que constituya un *proceso particular*, es decir, una cadena (rígida o estocástica) de acontecimientos tales que cada uno de ellos produzca su sucesor o ejerza alguna influencia sobre él.

En la dilucidación del principio de legalidad hemos introducido de contrabando el concepto de *conjunto de leyes*. Ello se debe a que ningún hecho conocido puede explicarse mediante una fórmula legaliforme: todo hecho conocido "obedece" a cierto número de fórmulas legaliformes. Sólo seleccionando convencionalmente una determinada clase de aspectos, por ejemplo, los mecánicos, podemos hacernos la ilusión de que una sola fórmula legaliforme, o un reducido manojo 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 ilegalidad 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 estandardizada 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, reimpreso 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 físicos 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 $=_{\mathrm{df}}$ 'p' es un enunciado nomológico.
Df 2 p es físicamente imposible $=_{\mathrm{df}}$ '$-p$' es un enunciado nomológico.
Df 3 p es físicamente posible $=_{\mathrm{df}}$ ni 'p' ni '$-p$' 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 qué '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 teoréticas describen los fenómenos, y hasta que todo fenómeno puede describirse totalmente sobre la base de una sola fórmula legaliforme o de una sola teoría? Segunda cuestión: Las simetrías presentes en las leyes de nivel alto, ¿quedan necesariamente conservadas por sus consecuencias de nivel bajo, las que sirven para describir los fenómenos? Considerar, por ejemplo, la simetría temporal de las leyes de la mecánica, o sea, su invariancia respecto del cambio de t por $-t$. Tercera cuestión: ¿Hay que identificar la legalidad con la simetría matemática que presentan las leyes fundamentales de la teoría de la relatividad (cuando se formulan de un modo adecuado para producir la simetría matemática entre las coordenadas de tiempo y espacio)? *Problema en lugar de ése:* Discutir el papel de las leyes en el conocimiento de la esencia de los hechos actuales y en la previsión de los posibles.

BIBLIOGRAFÍA

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. 16-20.

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: ESTÁTICA

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