

poladora; y el que sea posible en alguna medida se debe a que, a diferencia de los sistemas macroscópicos mecánicos, como el sistema solar, las sociedades humanas están dotadas de una “memoria” intensa, no en el sentido de que aprovechen la experiencia, sino en el de que su estado en un determinado momento determina considerablemente su futuro. Rara vez, si es que alguna, se hace la interpolación en historia con la ayuda de leyes propiamente dichas; por lo general se parece más que a eso a la resolución de acertijos y rompecabezas: o bien se trata de encajar una pieza de evidencia en un esquema conocido o conjeturado, o bien se descubre un hiato en el esquema mismo y el problema consiste en buscar la pieza de evidencia capaz de cubrirlo. El prehistoriador que encuentra un trozo de tejido se pone a buscar algunos restos de telar; el arqueólogo que descubre pinturas rupestres se pone en seguida a buscar huesos humanos en sus proximidades. Cualquier conjunto de datos adecuadamente interpretados a la luz de un marco de referencia de conocimiento histórico sugiere alguna concreta estructura que atribuir al grupo humano en estudio; a su vez, ese esquema sugiere hechos por el momento desconocidos, o sea, retrodicciones que el historiador intenta contrastar para conseguir así una contrastación de la estructura conjeturada y para conseguir más información. Pero ni siquiera cuando no emplea leyes históricas en sentido estricto —y ésta es la situación corriente— opera el historiador de un modo ciego; además de los datos, utiliza (i) el conocimiento de sentido común —a menudo erróneo— acerca de la “naturaleza humana”, (ii) el conocimiento, ya afinado, que le suministra la biología, la economía, la sociología, la psicología y cualquier otra disciplina que le sea útil y (iii) generalizaciones empíricas, líneas de tendencias y otras estructuras de acontecimientos y procesos históricos.

Los historiadores hacen, pues, retrodicciones laxas, y, en la mayor parte de los casos, interpolaciones retrodictivas. De vez en cuando, sin duda, se permiten proyecciones hacia adelante —por no hablar ya de veleidades proféticas. Ejemplo 1: En el siglo XVIII el conde de Aranda profetizó que las colonias españolas de América acabarían absorbidas por Estados Unidos. No se trataba, ciertamente, de una profecía infundada: Aranda utilizó explícitamente la generalización según la cual los aumentos de población empujan hacia la expansión territorial, y la correcta información de que la joven república del norte estaba teniendo un crecimiento demográfico más rápido que el de las atrasadas colonias españolas. Ejemplo 2: En 1835 A. de Tocqueville pronosticó que Estados Unidos y Rusia terminarían por tomar en sus manos el destino de una cuarta parte de la humanidad cada una. Tampoco esto fue mera injustificada profecía: Tocqueville estaba extrapolando una línea tendencial, a saber, la constante expansión territorial y el rápido progreso de ambos países. En los dos casos se utilizaron como premisas de la proyección una *tendencia* general y el *mecanismo* subyacente a la misma. Las proyecciones no se basaban en meras generalizaciones fenomenológicas del tipo “Siempre que ocurre *A* le sigue *B*”: tales generalizaciones son poco de fiar, porque cuando no puede indicarse ningún “mecanismo” puede sospecharse que se trate de una mera coincidencia.

Bastantes rasgos de la actual civilización fueron predichos por análogas razones o fundamentos hace más o menos un siglo. Como resultados de la industrialización se predijeron por entonces el aumento en la división del trabajo, el reforzamiento del estado, la mayor importancia del sindicalismo y del radicalismo político. En cambio, muchas otras previsiones históricas, y acaso las más, no han resultado satisfechas por los hechos, apar-

te de que muchos hechos no han sido previstos por nadie. Así, por ejemplo, la creciente prosperidad de la clase obrera en determinadas países, la primera guerra mundial, las alianzas concertadas durante la segunda y el reforzamiento postbélico del catolicismo y el militarismo en Estados Unidos, el rápido colapso del colonialismo y el colapso del comunismo no fueron previstos por nadie, salvo acaso por los que tenían ellos mismos la mano en el volante. La conclusión de esas reflexiones es obvia: hasta el momento, la previsión histórica *ha solido fracasar*. En cuanto se examina la cuestión se presentan casi espontáneamente dos explicaciones del fracaso. Primera explicación: la predicción histórica es imposible, y las previsiones que han resultado verdaderas lo han sido por pura suerte o porque eran demasiado obvias, vagas o ambiguas. Segunda explicación: la predicción histórica —en un sentido laxo de ‘predicción’— es posible en *esquema* siempre que se utilicen las generalizaciones relevantes y correctas, las líneas tendenciales y los enunciados legaliformes oportunos (que acaso pertenezcan a disciplinas adyacentes, como las ciencias sociales). La primera explicación podría ser correcta, pero no lo parece por ahora, pues (i) no se sostiene mediante una explicación admisible de por qué es imposible la predicción histórica, y (ii) porque la predicción científica no ha hecho aún ni siquiera sus primeras armas, a título de ensayo, en el campo de la historia. La segunda explicación parece más plausible, aunque no sea más que porque, de hecho, realmente se hacen sin cesar con éxito predicciones históricas *parciales y a corto plazo*. Sólo que no las hacen los historiadores, generalmente interesados por el pasado remoto, sino los estadistas y políticos, que son en cierto modo agentes históricos profesionales.

La elaboración del presupuesto de una nación moderna exige prever cuál será el producto probable en un futuro próximo sobre la base de las tendencias presentes y de unas pocas leyes de la ciencia económica; análogamente, el plan de producción de una industria se basa en previsiones de ventas, previsiones para las cuales la investigación operativa está desarrollando instrumentos cada vez más potentes. En general, cuanto más civilizados nos volvemos tanto más tendemos a regular nuestras acciones según ciertas previsiones: tal es, en efecto, el sentido de ese ‘obrar según un plan’ tan característico de la práctica moderna: es obrar para alcanzar objetivos señalados y, por tanto, predichos aunque sea de modo impreciso. En el pasado eran los charlatanes los que hacían esas previsiones; ahora las formulan los administradores, los economistas, los científicos sociales y los políticos. Y si a menudo son imprecisas eso puede deberse a que se basan en conocimiento insuficiente. El pensamiento desiderativo —el creer lo que se desea— y hasta la falta de veracidad son otras tantas fuentes más de fracaso en la predicción de la acción. En cualquier caso, los fracasos en la previsión no prueban la *imposibilidad* de la predicción misma: todo lo que evidentemente prueban es la *falibilidad* de la predicción. Y hasta podría argüirse que la previsión histórica a corto plazo es en principio más fácil que la previsión individual, precisamente porque la primera se refiere a agregados estadísticos de individuos cuyo preciso comportamiento no es en realidad relevante para la tendencia general. Así, por ejemplo, el profesional de la estrategia económica o militar planeará una determinada acción y preverá su resultado más probable sin tener en cuenta el destino individual de los soldados o de los obreros; análogamente, el recaudador de impuestos hará una estimación total de los ingresos fiscales de su distrito sin tener en cuenta cómo se ha ganado la vida cada uno de sus contribuyentes. Otro rasgo del comportamiento humano

en gran escala que hace posible una predicción resumida o esquemática es la intensa “memoria” de las comunidades humanas. Un tercer y último factor de predecibilidad es, finalmente, la creciente intervención del estado —y, consiguientemente, de una planificación casi “totalitaria” del curso de los acontecimientos en la vida moderna. (Compárese *Walden* de Thoreau con *Walden Two* de Skinner, y recuérdese que entre uno y otro no ha pasado más de un siglo.) Para bien o para mal, la creciente planificación de la vida social y la resultante rigidez de la misma van acercando la historia a la física: y esto, naturalmente, no es más que un pronóstico. Lo que hace posible la predicción histórica no es que haya *leyes históricas inexorables*: si existen realmente leyes históricas, son obra de nuestra acción y, por tanto, son susceptibles de cambio, es decir, no son inexorables. La predicción histórica es en principio posible más bien porque (i) la historia es la evolución de la sociedad humana, y estamos ahora empezando a aprender algo acerca de los mecanismos sociales, (ii) las personas se dedican a veces deliberadamente a hacer que los acontecimientos ocurran.

Se ha considerado generalmente como un hecho indiscutible que la previsión histórica debe atender a las hazañas de individuos excepcionales (por que éstos son los principales agentes causales en la historia) o al “destino” general de las naciones (por suponerse que hay al respecto inexorables leyes históricas). Ambos desiderata extremos son prácticamente inalcanzables, y si sus presupuestos resultan manifiestamente falsos no vale la pena ponerse a discutirlos como programas. Lo que el historiador de estilo mental sociológico puede intentar prever con algún éxito es el conjunto de las *líneas generales y más probables* de desarrollo de los grupos humanos en ciertos *respectos definidos* (por ejemplo, el económico, el educativo, el religioso), suponiendo, para empezar, que determinados factores, mecanismos y tendencias seguirán operando o dejarán de obrar. Este tipo de previsión no partirá de *leyes generales* —las cuales no existen en este campo—, sino que seguirá a un análisis del sistema de que se trate, para descubrir partes y relaciones, y a la subsiguiente aplicación de cierto número de hipótesis —y de teorías si es posible— sobre las partes y relaciones en cuestión.

El error de todos los profetas históricos ha consistido en entregarse a formular previsiones intuitivas y holísticas, totalizadoras, o sea, proyecciones generales sin análisis previo ni teoría subyacente. No puede así sorprender que sus proyecciones fallen, salvo cuando han tenido la precaución de formularlas de un modo inasequible a la contrastación empírica. Es como si un ingeniero mecánico al que se pidiera que predijera el estado de un determinado automóvil cinco años después considerara el automóvil en su conjunto, sin examinar el estado actual de sus partes, ni las costumbres de su dueño, ni tener en cuenta ningún supuesto concreto sobre el desgaste normal y la producción de accidentes tal como pueden hacerse con base en conocidas generalizaciones estadísticas. El mejor pronóstico que podría hacer un competente técnico automovilístico sobre la base de ese tipo de conocimiento y de supuestos tendría la siguiente forma: “La probabilidad de que el automóvil termine en el estado 1 es p_1 ; la del estado final es p_2 , etc., y todas esas probabilidades sumadas dan 1.” Si esas previsiones de árboles de probabilidades son todo lo que podemos esperar respecto de la vida de los automóviles y, a pesar de su modestia cognoscitiva, las consideramos útiles, ¿por qué hay que pedir mucho más al historiador científico del futuro? (cf. sec. 10.2).

Nos hemos ocupado hasta ahora de la previsión del curso *más plausible* de los acontecimientos. ¿Qué decir respecto del *menos plausible* o sea, de novedades radicales, como son los progresos importantes en la ciencia pura y la aplicada? Los descubrimientos y las invenciones importantes de la ciencia y la técnica son impredecibles *en detalle*, igual que las grandes obras de arte. Pero algunas de esas innovaciones pueden preverse *en esquema* o esbozo, y son incluso objeto de pronósticos de todas las grandes instituciones que llevan a cabo proyectos de investigación. Todo el mundo puede hoy atreverse a hacer los siguientes pronósticos más o menos audaces acerca de los desarrollos científicos del próximo futuro. En primer lugar, la biología, la sociología y la psicología continuarán avanzando. Ésa es una extrapolación de una tendencia iniciada esencialmente después de la segunda guerra mundial. En segundo lugar, se aislará el mecanismo de la fotosíntesis y se dominará luego y se aplicará para conseguir la síntesis de alimentos en gran escala, lo cual dará gradualmente lugar a la desaparición de la agricultura, con el resultado último de completar el proceso de urbanización. El fundamento de esta extrapolación es la creciente comprensión del proceso de la fotosíntesis y los éxitos del programa de síntesis del protoplasma a partir de cadenas de aminoácidos. En tercer lugar, todos los trastornos mentales serán tratados eficazmente, a medida que se diseñen y ensayen nuevos fármacos neurolépticos. El fundamento de este pronóstico es que hoy sabemos que los trastornos mentales son disfunciones cerebrales, las que a su vez son causadas por reacciones químicas anormales. Los tres pronósticos tienen las siguientes características: (i) son previsiones esquemáticas, no de detalle; (ii) son temporalmente indeterminadas y, por tanto, empíricamente irrefutables; y (iii) no se basan en leyes propiamente dichas: no se conocen hasta el día de hoy leyes referentes a la invención y el descubrimiento de ideas y artefactos. Pero no son profecías arbitrarias: se basan en información relativa a las presentes condiciones, a las tendencias y la fiabilidad de la investigación científica. Aún más: tampoco son previsiones sueltas, sino que constituyen la base de ciertos proyectos de investigación y de las esperanzas puestas en ellos. Sin tales pronósticos, planes y esperanzas no podrían conseguirse dotaciones económicas para las investigaciones correspondientes.

En resolución: parece posible la previsión histórica, aunque sea esquemática. Pero con esto no se quiere negar que hay importantes diferencias entre el pronóstico histórico y la predicción física, que son los dos polos de la previsión científica. He aquí unas cuantas diferencias que destacan entre ellas: (i) mientras que el físico puede frecuentemente hacer predicciones nomológicas estrictas, el historiador no puede hasta hoy conseguir más que predicciones laxas, tal vez porque (ii) hasta el momento la historia no ha descubierto sino pocas leyes, generalmente de un tipo superficial (fenomenológico), como las leyes de conjunción y sucesión, y, por tanto, (iii) la previsión histórica es imprecisa. (iv) Los historiadores no se han preocupado de construir teorías científicas para el terreno de la historia: han estudiado el hecho aislado, o la cadena aislada de acontecimientos y, a lo sumo, han imaginado grandes filosofías de la historia, incontrastables o manifiestamente falsas; (v) en particular y hasta hace muy poco tiempo y con escasas excepciones, los historiadores no han intentado descubrir los mecanismos de los acontecimientos, los cuales son presumiblemente mecanismos biológicos, psicológicos, económicos, sociales y culturales. (vi) La historia no se ha estudiado nunca de un modo estadístico, pese a que la

sociedad humana es en muchos respectos más parecida a un agregado estadístico que a un organismo. (vii) Mientras que el físico no necesita utilizar más leyes que las físicas, el historiador necesita leyes de nivel inferior al suyo (principalmente leyes sociológicas), como han comprendido hace ya mucho tiempo los historiadores de la sociedad y de la economía. (viii) Mientras que la validez de las leyes de niveles inferiores al humano se considera dada para periodos cósmicos enteros, o acaso eternamente, se supone que las leyes sociales cambian junto con la sociedad misma; eso acarrea una nueva complejidad a la proyección histórica, pero no la hace imposible: en última instancia, tal vez las leyes no cambian casualmente y puedan descubrirse las leyes de su cambio mismo. (ix) A diferencia de la predicción física, que no influye ella misma en los hechos (a menos que la recoja un ingeniero), la predicción relativa a asuntos humanos puede influir en los mismos acontecimientos a que se refiere, y ello hasta el punto de cambiar su curso y apartarlos del que habrían seguido si no se hubiera hecho pública la predicción, como ocurre con las desiderativas previsiones de financieros y políticos, que modelan con ellas el futuro real (cf. sec. 11.3).

Pero en este último respecto la predicción histórica es precisamente como la tecnológica—por ejemplo, como la previsión acerca del rendimiento y la duración de una máquina— hecha a base de la física. Y la eficacia causal de algunas predicciones históricas es en verdad un poderoso argumento en favor de la tesis de que la predicción histórica puede tener éxito. Sólo que el hecho tiene escaso—o ningún— valor de contrastación, porque no podemos tener experiencia de lo que habría ocurrido si no se hubiera formulado la predicción. También puede compararse la imprecisión de la previsión histórica con la precisión de la previsión astronómica; pero aquella imprecisión no es peor que la que afecta a la predicción de trayectorias de electrones, ni que la actual incapacidad de prever terremotos y tornados. Por último, el historiador no es el único científico que se ve obligado a apelar a leyes de nivel inferior al propio: también tienen que hacerlo el geólogo, que se basa en las leyes de la física y la química, o el biólogo que, para poder prever la evolución probable de una colonia de bacterias, usa las leyes de la genética y la ecología. Si en vez de comparar la historia con la astronomía la comparáramos con la mecánica estadística o con el estudio de la evolución biológica, se vería que muchas debilidades supuestamente características de la historiografía o hasta, como a veces se dice, de su tema mismo, son también propias de disciplinas perfectamente científicas. La historia no es la física, pero tampoco es literatura. Y obstaculizar la posibilidad de maduración de la historiografía y su conversión en ciencia es tan poco favorable al progreso como complacerse con su actual condición protocientífica.

Todas las predicciones son falibles, y los pronósticos lo son aún más, igual en física que en historia. Las previsiones pueden ser arriesgadas, pero no son peligrosas mientras no consistan en lóbregos pronósticos de imposibilidad de logros humanos, sociales o culturales, como, por ejemplo, la profecía según la cual nunca seremos capaces de prever la dirección del cambio social. La mera formulación de esa profecía obliga al conformista a obrar de modo que se confirme la profecía, o sea, a cortar su búsqueda de teorías sociales que tengan potencia predictiva; y estimulará al no-conformista a refutar esa profecía. (No hay previsiones que se autosatisfagan intrínsecamente, ni tampoco previsiones que se autodestruyan por necesidad interna: hay personas dispuestas a rendirse y otras

que se resisten a capitular.) Pero de la eficacia causal que pueden tener las previsiones cuando los hombres las toman como guías para la acción nos ocuparemos en la sec. 11.3. Nuestra tarea inmediata consiste ahora en dilucidar el concepto de potencia predictiva.

Problemas

10.3.1. Todo político –si es que, como suele suponerse, los políticos son sagaces– será capaz de prever de cualquier gran crisis internacional que esa crisis va a resolverse. ¿Por qué? ¿Arriesgará una opinión acerca de cómo y cuándo se resolverá la crisis? ¿Y en qué circunstancias, si es que hay algunas, podría hacerlo? *Problema en lugar de ése*: En su asombroso libro de ficción científica *The World Set Free* (1914), H. G. Wells profetizó el descubrimiento de la radiactividad artificial para 1933 (se consiguió en 1919), la construcción de una planta para la producción de energía de origen nuclear para 1953 (un tal artefacto se construyó en 1951) y la explosión de la primera bomba atómica para 1959 (el hecho ocurrió en 1945). En cambio, Lord Rutherford, el descubridor de la radiactividad inducida, profetizó en 1933 que jamás se liberaría la energía nuclear, por no hablar ya de domarla y utilizarla. Analizar esta historia con los conceptos de profecía, prognosis e imaginación.

10.3.2. Analizar el modo como el físico C. G. Darwin hace previsiones “medias” en *The Next Million Years*, Garden City. Nueva York, Doubleday, 1953. El ejercicio consiste en hallar, enumerar y examinar los supuestos básicos (leyes y tendencias) en los cuales basa su proyección. *Problema en lugar de ése*: Examinar los consejos dados por S. Lilley a quienes tienen que hacer previsiones acerca de innovaciones científicas y tecnológicas, a saber: (i) Extrapolar las tendencias actuales y (ii) hacer pronósticos del tipo “Será posible visitar otros sistemas planetarios”, sin precisar cómo ni cuándo. Cf. “Can Prediction Become a Science?”, en B. Barber y W. Hirsch (eds.), *The Sociology of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, p. 148.

10.3.3. Algunos de los aceleradores de partículas de los actuales dispositivos de escisión atómica o fisión se construyeron con objetivos muy concretos, como la producción artificial de determinadas partículas desconocidas hasta el momento, pero predichas por la teoría. Así, por ejemplo, el bevatrón de Berkeley se planeó para producir antiprotones, y el protosincrotrón CERN se escogió para producir muones y piones. Discutir esos casos desde el punto de vista de la predicción y la planificación del descubrimiento científico.

10.3.4. Los metales tienen cierta “memoria”, como muestra el fenómeno de su llamada fatiga; los líquidos tienen menos “memoria”, pero de todos modos “recuerdan” por algún tiempo. los movimientos de torbellino que se producen en ellos; los gases, por último, carecen casi completamente de memoria. En algunos casos importantes, la historia pasada del sistema no determina unívocamente su historia futura, o sea, que el sistema tiene poca “memoria” o ninguna; en otros casos (procesos de Markov) lo único relevante desde este punto de vista es el pasado inmediato: el sistema tiene una “memoria” de alcance corto. Examinar la memoria física en cuanto base objetiva de la retrodicción. Recuérdese la sec. 10.2.

10.3.5. Puede esperarse observar lo predicho, mientras que lo retrodicho es inobservable, puesto que ha dejado de existir. ¿A qué se debe entonces el que podamos someter nuestras retrodicciones a contrastación, y cuál es el resultado de esta diferencia entre la predicción y la retrodicción para la metodología de la proyección? *Problema en lugar de ése*: Estudiar la metodología y los logros de los historiadores sociales y económicos de la nueva escuela francesa –como F. Braudel y P. Vilar– agrupados en torno de los *Annales E. S. C.* de París.

10.3.6. El biólogo J. B. S. Haldane, en “On Expecting the Unexpected, *The Rationalist Annual*,

1960, p. 9, ha afirmado que “Una parte esencial del método científico consiste en esperar lo inesperado.” ¿Puede ser ilimitada esa expectativa, o debe dejar de lado acontecimientos “prohibidos” por las leyes razonablemente conocidas en cada momento? ¿Y podríamos afinar esa expectativa de lo impredecible para conseguir una predicción más precisa? Si lo consiguiéramos, ¿no supondría eso una violación de la máxima de que siempre hay que hacer sitio para lo inesperado? Cf. el segundo problema 10.2.1.

10.3.7. ¿Sería posible la proyección a largo plazo si las leyes objetivas cambiaran? Considerar los casos de cambio de leyes casual y según leyes.

10.3.8. Examinar la argumentación de H. B. Acton según la cual la predicción de descubrimientos e inventos individuales es lógicamente imposible porque predecirlos sería hacer ya los descubrimientos y los inventos que se esperan. ¿Se aplica esa argumentación a las previsiones en esquema o esbozo de que se ha hablado en el texto? *Problema en lugar de éste*: Examinar la opinión según la cual los descubrimientos y los inventos individuales pueden preverse en esbozo sobre la base de las condiciones, los medios y los fines actuales, y que cuando se presentan los medios “los tiempos están ya maduros para la innovación”, como confirma el hecho de que la innovación puede introducirse en ese momento por varios individuos que trabajen con independencia recíproca. Cf. J. R. Platt, *The Excitement of Science*, Boston, Houghton Mifflin, 1962, especialmente el cap. 4.

10.3.9. Examinar la refutación por K. R. Popper de la tesis de la predecibilidad histórica, tal como la expone en el prólogo a *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1960. Reducida a su núcleo, la argumentación de Popper es como sigue: (i) El curso de la historia humana está intensamente influido por el aumento del conocimiento humano; (ii) el aumento del conocimiento humano es impredecible; (iii) por tanto, es impredecible también el curso futuro de la humanidad. ¿Vale la primera premisa para acontecimientos tales como la independencia de las naciones africanas a partir de la presente década de este siglo? ¿Y es la segunda premisa plausible a la vista de la creciente planificación de la investigación y de las aplicaciones tecnológicas de los principios científicos? Recuérdese que el proyecto Manhattan, y no es el único caso, se llevó aproximadamente a cabo según los esquemas previstos, y que el intervalo entre la innovación científica y la aplicación ha estado comprimiéndose constantemente en los últimos cien años. Comparar la actitud de Popper con la de los científicos sociales dedicados precisamente a prever grandes acontecimientos y tendencias. Cf. H. Hart, “Predicting Future Events”, en F. R. Allen *et al.*, *Technology and Social Change*, Nueva York, Appleton-Century-Crofts, 1957.

10.3.10. Examinar la paradoja siguiente: El enunciado “ x es impredecible” es una abreviatura de “Para todo t , si t es un instante del tiempo y x es un acontecimiento, entonces es imposible predecir x en t ”. Para todo valor de t que denote un instante futuro, la anterior fórmula se convierte en una predicción: predice impredecibilidad.

10.4. POTENCIA PROYECTIVA

Para que puedan considerarse científicas, las predicciones y las retrodicciones tienen que satisfacer ciertos requisitos que las distinguen de las conjeturas, las profecías y los pronósticos ordinarios (cf. sec. 10.1). Y las teorías factuales, para que se las pueda considerar científicas, tienen que dar de sí fórmulas proyectivas que satisfagan esos requisitos. En última instancia, pues, algunas de las condiciones puestas a los enunciados proyectivos se propagarán hacia atrás, hacia las premisas que implican las proyecciones. Estudiemos ahora esas condiciones.

Es obvio que una proposición proyectiva, si es que ha de tener un valor de contrastación o un valor práctico, no tiene que ser lógicamente verdadera, o sea, no tiene que ser verdadera en virtud de su forma o en virtud de las significaciones de sus signos componentes. Pues si fuera verdadera en ese sentido sería independiente de los hechos: no sería referente a hechos. El especialista de la previsión del tiempo decepcionaría grandemente (y le despedirían) si publicara previsiones como ésta: “Mañana nevará o no nevará”, porque ‘nevar’ tiene presencia vacía en ese enunciado, es decir, puede sustituirse por cualquier otro verbo. Y tampoco sería mucho más apreciado nuestro especialista si anunciara algo así: “Mañana puede nevar”, porque esta proposición modal es empíricamente indistinguible de la proposición contraria “Mañana puede no nevar”. (Las únicas proposiciones de probabilidad que son contrastables en ciertas circunstancias son las cuantificadas.) Dicho brevemente: las fórmulas proyectivas tienen que ser sintéticas, dependientes de los hechos, y, además, tienen que serlo de una determinada manera, con precisión: no pueden ser elusivas ni librarse de todo riesgo y compromiso. Pero incluso eso es insuficiente: un enunciado puede estar muy determinado, no ser nada ambiguo ni vago y, sin embargo, resultar insusceptible de contrastación. He aquí un ejemplo: “Este libro disgusta a Zeus.” Puesto que hay que compararla con registros de observación, una proposición proyectiva tiene que ser traducible sin grandes distorsiones a una *proposición observacional*, o sea, a una proposición que no contenga más que conceptos directa o indirectamente observacionales; hablando epistemológicamente, tiene que encontrarse a un nivel bajo. En resolución: una proposición proyectiva debe tener a la vez un *intenso contenido informativo* y un *alto grado de contrastabilidad*. O como también podemos decir, una proyección tiene que ser referencial y evidentemente determinada si es que ha de tenerse en cuenta como pieza de contrastación del cuerpo de hipótesis del cual se deriva.

Otro modo de decir la misma cosa es el siguiente: para que una proyección cuente como pieza de contrastación de una teoría científica tiene que especificar sin ambigüedades el hecho proyectado, de tal modo que podamos reconocerlo sin equívocos. (Esto no descalifica las predicciones laxas, ni las previsiones indeterminadas, del tipo de las comentadas en las dos secciones anteriores: sólo disminuye su valor de indicadores del grado de verdad de las teorías.) Una especificación prácticamente completa del hecho proyectado deberá incluir los puntos siguientes: (i) la *clase* de hecho de que se trate, por ejemplo, que consiste en la síntesis de cierta molécula de ácido nucleínico; (ii) la *condición* en la cual se produce el hecho, por ejemplo, los reactivos inicialmente presentes, la presión, la temperatura etc.; (iii) las circunstancias en las cuales se *observará* o *podría observarse* el hecho por un operador que manejara un determinado equipo experimental, por ejemplo, la cantidad de ácido suficiente para que las técnicas de análisis disponibles lo detecten.

Tanto la naturaleza del hecho cuanto las condiciones de su producción y observación pueden especificarse exactamente dando los valores de sus variables cuantitativas características; pero esa caracterización cuantitativa no siempre es técnicamente posible, y a veces no es tampoco necesaria. Habrá en cambio que recoger entre los valores de las variables relevantes el tiempo en el cual se espera que ocurra el hecho proyectado, si es que la pregunta inicial que determinó la inferencia proyectiva pregunta también por dicho tiempo. Si se satisfacen todas esas condiciones, podemos decidir, antes de cualquier

contrastación empírica, que, cualquiera que sea el valor veritativo de la proyección, este valor dependerá críticamente *sólo del hecho* y, consiguientemente, que la contrastación de la proyección será relevante para la de la teoría. Esa dependencia respecto de lo fáctico tiene que establecerse antes de proceder a la contrastación o a la aplicación: de no ser así, la contrastación podría ser poco de fiar y la aplicación irrelevante.

Ahora bien: los requisitos de contenido en información (determinación referencial) y de contrastabilidad (determinación evidencial) pueden satisfacerse en medidas diversas. Cuando una proposición proyectiva sobresale en su cumplimiento de esas condiciones podemos decir que tiene un gran *contenido proyectivo*. El contenido proyectivo de las proposiciones lógicamente verdaderas, el de las profecías y oráculos y el de los enunciados de posibilidad sin cuantificar es aproximadamente nulo; algo más alto es el de los pronósticos empíricos; máximo el de las proyecciones cuantitativas. ¿Podemos hacer algo más que ordenar las proyecciones respecto de su contenido proyectivo: podemos cuantificar el concepto de contenido proyectivo? Se han hecho dos propuestas para medir el contenido proyectivo, y ambas suponen el concepto de probabilidad. La primera propuesta consiste en identificar contenido proyectivo con probabilidad, basándose en que las proyecciones mejores son las que más probablemente se cumplirán. Formulado con brevedad, este primer punto de vista consiste en sentar que *Contenido proyectivo* = *Probabilidad*. La segunda propuesta se inspira en la observación de que las profecías de los gitanos son casi tan inútiles como las tautologías precisamente porque son demasiado probables. Por eso, según este punto de vista, el contenido proyectivo y la probabilidad serían inversos entre sí, o sea: *Contenido proyectivo* = $1 - \text{Probabilidad}$. Las dificultades propias de cada propuesta empiezan en cuanto intentamos medir la probabilidad en cuestión, o sea, en cuanto que planteamos las siguientes preguntas: (i) ¿Cuál es el argumento de la función probabilidad, o sea, de qué es P una probabilidad?; y (ii) ¿Cómo debe estimarse el valor numérico de la probabilidad a base de la experiencia?

*Como estamos hablando del contenido proyectivo de proposiciones podría parecer que el argumento de la función probabilidad tiene que ser un enunciado, e , o sea, que tendríamos que escribir fórmulas del tipo $P(e)$. Y como un enunciado proyectivo se refiere a algún hecho, h , también podríamos escribir ' $P[e(h)]$ ' para indicar la probabilidad del enunciado e que expresa el hecho h . Esta probabilidad (epistemológica) tiene que distinguirse de la probabilidad (física) $P(h)$ del hecho mismo. Efectivamente: mientras que de $P(h)$ se supone que es una propiedad disposicional de un trozo de realidad, $P[e(h)]$ depende del estado de conocimiento humano que sugiere la formulación del enunciado e . Las dos probabilidades son pues, conceptualmente diferentes y, en general, difieren también numéricamente. Además, no tienen relación entre ellas, como mostrará el caso siguiente. Consideremos la dispersión de los neutrones sobre un núcleo atómico. La colisión de un neutrón solo con el núcleo es sumamente improbable (hablando el lenguaje de la frecuencia relativa, es un hecho infrecuente), a causa del pequeño blanco que es un núcleo (es un blanco del orden de 10^{-24} cm²). Pero la teoría física puede hacer frecuentemente predicciones discretamente precisas de tales acontecimientos improbables; dicho de otro modo: frecuentemente pueden hacerse predicciones con un pequeño error probable respecto de tales acontecimientos improbables. Supongamos que ponemos en ecuación la probabilidad de la predicción con su precisión. O sea, llamando ε al error proba-

ble, que ponemos: $P[e(h)] = 1 - \epsilon$, fórmula en la cual 'e' representa la proyección que describe el hecho h . Sobre esta base tenemos una predicción científica (de un acontecimiento sumamente improbable) que tiene tanta probabilidad como la adivinación de un gitano y, al mismo tiempo e innegablemente, mucho contenido predictivo. Este contraejemplo basta para liquidar la idea de identificar la proyectabilidad con la improbabilidad; lo notable es que el ejemplo del gitano arruina también la identificación de la proyectabilidad con la probabilidad.

Además, rara vez determinamos la probabilidad de una proposición, ni antes de contrastarla ni como resultado de haberla contrastado. Y ello, en primer lugar, porque la frase 'probabilidad de una proposición' es tan ambigua que apenas resulta significativa; lo que puede recibir una significación clara y determinada es la frase 'la probabilidad de que una proposición p sea verdadera dada (o supuesta) la verdad de la(s) proposición(es) q ', o sea, la probabilidad condicional $P(p/q)$, y no la probabilidad absoluta $P(p)$. (Sobre probabilidad condicional, cf. sec. 7.5.) En segundo lugar, porque la determinación del valor numérico de una tal probabilidad anterior a la contrastación es imposible a menos de suponer un mecanismo determinado y finito, como el modelo de la urna (usado, dicho sea de paso, para calcular la probabilidad de las hipótesis genéticas). Lo que estimamos es el *rendimiento* de un sistema en la realización de una tarea proyectiva. Pero, como es obvio, eso no puede hacerse más que *después* de una secuencia de contrastaciones empíricas, porque un tal rendimiento no es más que una medida de la extensión en la cual la proyección concuerda con los registros empíricos relevantes. Y como lo que más nos interesa es esa adecuación de nuestras proyecciones, desplazaremos el conjunto de la discusión desde el terreno de la probabilidad al de la *verdad*. (En la sec. 7.5 se arguyó que la probabilidad es una medida completamente inadecuada del grado de verdad.) Y como las proyecciones científicas se derivan en el marco de teorías, haremos otro desplazamiento más, pasando de proyecciones aisladas a *conjuntos* enteros de proyecciones pertenecientes a una teoría.

Deseamos obtener proyecciones máximamente verdaderas, con la esperanza de que esto será un síntoma de la verdad de las teorías utilizadas para calcularlas. En última instancia, tanto para fines cognoscitivos cuanto para fines prácticos lo que buscamos es teorías probables (aunque refutables). Pero, para fines de contrastación, no seremos tan ingenuos (ni poco honrados, según los casos) como para seleccionar las proyecciones más probables o verosímiles de entre todas las suministradas por nuestra teoría, porque son las más triviales y las que menos difieren de las proyecciones suministradas por teorías antes aceptadas. No debemos sentir el ansia de confirmar constante y repetidamente las opiniones sostenidas por el anterior cuerpo de creencias: lo que deseamos es someter a contrastación las nuevas, las consecuencias aún no familiares de la teoría que queremos estimar (si es que efectivamente es ése nuestro objetivo). Consiguientemente, tenemos que distinguir entre la *verosimilitud anterior* de una proyección y su *verosimilitud posterior*. Lo mismo puede decirse de la teoría que le dio origen.

Dicho de otro modo: para fines de *contrastación* no vamos a elegir las proyecciones de confirmación más probable, sino —de acuerdo con Peirce y Popper— las que, a tenor del conocimiento previo (sin incluir la teoría considerada), son de confirmación menos verosímil. (Obsérvese que esto excluye automáticamente el uso de la probabilidad, pues-

to que el conjunto de proyecciones que elegimos para fines de contrastación no es una muestra al azar de nuestra teoría: eso responde a las dos propuestas sobre el contenido proyectivo antes comentadas.) Hasta nuevo aviso en contra, *adoptaremos* todas y sólo las proyecciones que estén empíricamente confirmadas, de tal modo que tengan un alto grado de verdad sobre la base de la teoría y la experiencia a la vez (verosimilitud posterior). No hay incompatibilidad entre el primer precepto, que nos manda elegir para fines de contrastación las hipótesis más audaces, y la última regla, según la cual hay que adoptar las proyecciones mejor confirmadas. La primera norma se aplica, en efecto, antes de la contrastación empírica, y la segunda después de ésta.

Someteremos, pues, a contrastación las proyecciones t_i derivadas en la teoría T y que tienen, consiguientemente, el valor veritativo teórico máximo, $V(t_i/T)$, pero con pequeño valor veritativo previo, $v(t_i/A)$, sobre la base del conocimiento anterior A . Si t_i supera la contrastación empírica, la adoptaremos provisionalmente; en este caso atribuiremos a t_i un alto grado de verdad, $V(t_i/TE)$, respecto de la teoría y de la nueva experiencia. Tomamos, pues, en sustancia, las siguientes reglas.

Regla 1. Para fines de contrastación, seleccionar las proyecciones t_i tales que los $V(t_i/T)$ son altos y los $V(t_i/A)$ bajos.

Regla 2. Adoptar (hasta nuevo aviso) las t_i obtenidas en T que han superado la contrastación empírica, o sea, las que tienen valor máximo $V(t_i/TE)$.

Esas reglas recogen la diferencia obvia, pero a menudo despreciada, entre contrastar una conjetura y adoptarla o creer en ella. La Regla 1 satisface la máxima deductivista *Poner a prueba la hipótesis más arriesgada*, mientras que la Regla 2 se atiene a la máxima inductivista *Adoptar la hipótesis mejor confirmada*. Las dos reglas son mutuamente compatibles, aunque no sea más que porque se refieren a operaciones diferentes: la contrastación y la adopción. Por eso su aceptación simultánea contribuye a salvar el hiatos entre el deductivismo y el inductivismo.

Las anteriores reglas sugieren varias maneras de medir el rendimiento proyectivo. En lo que sigue se presenta una de ellas. Si la experiencia confirma unas cuantas proyecciones precisas dotadas de escasa verosimilitud previa, $V(t_i/A)$, podemos decir que la teoría madre de todas ellas, T , que las implica, tiene un rendimiento proyectivo apreciable. (La *potencia* proyectiva total de la teoría no es en cambio susceptible de estimación: su determinación requeriría la derivación efectiva del conjunto infinito $\{t_i\}$ de las proyecciones y la contrastación empírica de cada una de ellas.) Cuanto más numerosas y precisas son las proyecciones suministradas por la teoría, tanto mayor es su rendimiento proyectivo. La teoría de la evolución de Darwin puede servir como ejemplo de la clase de las teorías que tienen un alto rendimiento proyectivo (aunque sus proyecciones sean laxas, y no estrictas, como vimos en la sec. 10.3); esa teoría hizo, entre otras, la heterodoxa proyección de que probablemente se encontrarían fósiles análogos a los de los monos e interpretables como restos de antepasados nuestros. Una teoría que suministre proyecciones originales y, al mismo tiempo, verdaderas, orientará la investigación en búsqueda de su propia evidencia. Toda proyección original, si se confirma, constituye evidencia nueva en favor de la teoría y, si se refuta, en contra de ella. Aún más: en algunos casos

—como la teoría ondulatoria de la luz debida a Fresnel, la teoría darwinista del origen del hombre y la teoría einsteiniana de la gravitación—, los hechos proyectados constituyen al mismo tiempo la primera evidencia en favor de (o contra) la teoría. Es claro que si una tal proyección original resulta verdadera, el grado de valor que atribuiremos a la teoría será mucho más elevado que si la teoría se hubiera estructurado de acuerdo con un conjunto dado de hechos (sistematización *ad hoc*).

*Una medida adecuada del rendimiento proyectivo de una teoría sería, pues, una función de las diferencias $V(t_i/AE) - V(t_i/A)$ entre el valor veritativo posterior y el valor veritativo anterior de las proyecciones, t_i , de la teoría. Esas diferencias serán nulas en el caso de que las t_i estuvieran ya confirmadas y la teoría, lejos de ser nueva en algún respecto, fuera parte del conocimiento anterior. Serán grandes si las t_i son completamente ajenas a A , esto es, si $V(t_i/A) = 0$. Y las diferencias serán máximas si las t_i son falsas según A , o sea, en el caso $V(t_i/A) = -1$: A continuación se da una fórmula sencilla, aunque no necesariamente adecuada, del rendimiento proyectivo $\Pi(T)$, de una teoría T que implique las proyecciones t_i , estimadas por el conocimiento A y los resultados, E , de los procedimientos empíricos:

$$\Pi(T) = \sum_{i=1}^N [V(t_i/AE) - V(t_i/A)] \quad [10.1]$$

La sigma mayúscula representa la sumación sobre i entre 1 y $N (< \infty)$, que es el número total de contrastaciones llevadas a cabo. Es claro que esa fórmula representa la suma de las diferencias entre las verosimilitudes posteriores y anteriores de las proyecciones, t_i , de la teoría T . Cuando se trate de grandes números de contrastaciones será interesante introducir el concepto de *rendimiento proyectivo relativo* $\Pi_r(T)$:

$$N \gg 1, \quad \Pi_r(T) = (1/N) \sum_i [V(t_i/AE) - V(t_i/A)] \quad [10.2]$$

Insistimos en que, puesto que N es el número de las proyecciones efectivamente sometidas a contrastación, esas fórmulas no miden la potencia proyectiva de una teoría; pero pueden considerarse como fuentes de *estimaciones* groseras de la misma, del mismo modo que el muestreo suministra una imagen aproximada de una población entera. En la cuestión que estamos estudiando decidimos atribuir tanto peso al cuerpo de experiencia nueva E como al cuerpo de conocimiento antecedente A . O sea: convenimos en que el valor veritativo de una proposición t_i respecto de AE es igual a la medida de sus valores veritativos respecto de A y de E por separado:

$$V(t_i/AE) = (1/2) [V(t_i/A) + V(t_i/E)] \quad [10.3]$$

Introduciendo esta fórmula en [10.2] obtenemos finalmente:

$$N \gg 1, \quad \Pi_r(T) = (1/2 N) \sum_i [V(t_i/E) - V(t_i/A)] \quad [10.4]$$

$\Pi_r(t)$ tiene su valor mínimo, -1 , cuando las N proyecciones quedan empíricamente refutadas y, al mismo tiempo, son conformes al conocimiento antecedente (el cual es

entonces claramente superior a la nueva teoría); en este caso, efectivamente, cada término de la suma es igual a $-1/N$, y el total suma $-N/N = -1$. El valor máximo, $+1$, de $\Pi_r(T)$ corresponde a un conjunto de proyecciones todas las cuales están empíricamente confirmadas y, al mismo tiempo, contradicen creencias anteriores; pues en este caso cada término aporta $(1/2N) [1 - (-1)] = +1/N$ al valor total $N/N = 1$. Por último, para una teoría *ad hoc* que recoja E y obedezca a A , se tiene $\Pi_r(T) = 0$. En resolución: el rendimiento proyectivo definido por [10.4] se encuentra entre los límites -1 (cuando las N proyecciones quedan falsadas) y $+1$ (cuando las N proyecciones quedan empíricamente confirmadas y son máximamente originales).

El mismo resultado se obtiene partiendo de la observación de que el rendimiento proyectivo de una teoría es tanto mayor cuanto más original y menos imprecisa sea. Esto es: $\Pi(T) \propto O(T) - I(T)$. Ahora bien, la originalidad de T respecto del cuerpo de conocimiento antecedente A queda dada por las diferencias $V(t_i/T) - V(t_i/A)$ entre los valores veritativos atribuidos a las t_i en base a T y los calculados en base al supuesto de que vale A . Podemos, pues, escribir, también para valores grandes de N ,

$$O_r(T) = (1/2N) \sum_i [V(t_i/T) - V(t_i/A)] \quad [10.5]$$

Como $V(t_i/T)$ es próximo a 1 y $V(t_i/A)$ se encuentra entre -1 (heterodoxia) y $+1$ (ortodoxia.), ningún sumando será negativo, y $O_r(T)$ se encontrará en algún lugar entre 0 (o cerca de 0) y 1. El mínimo de $O_r(T)$ corresponderá a una teoría que consista en una mera reordenación o reformulación de un sistema ya contenido en A . Y el valor máximo de originalidad, $+1$, corresponderá a una teoría que rompa con el cuerpo de conocimiento antecedente A .

Ahora bien: la audacia no es estimable más que en la medida en que coincide con una imprecisión mínima. Y el grado de imprecisión de T puede definirse con bastante naturalidad (pero también para valores grandes de N) del modo siguiente:

$$I_r(T) = (1/2N) \sum_i [V(t_i/T) - V(t_i/EA)] \quad [10.6]$$

Como $V(t_i/T)$ cae cerca de la unidad, $0 \leq I_r(T) \leq 1$. Restando esta expresión de [10.5] y recordando [10.2], obtenemos

$$O_r(T) - I_r(T) = \frac{1}{2} \Pi_r(T) \quad [10.7]$$

tal como suponíamos. Este resultado intuitivo refuerza la plausibilidad de nuestra técnica de medición, [10.2], del rendimiento proyectivo.

Recordando la fórmula [9.13] que daba el valor del alcance de una teoría (uno de los factores de la potencia o capacidad explicativa dilucidada en la sec. 9.6), fórmula que era

$$C_3(T) = (1/2N) \sum_i [V(t_i/AE) + V(t_i/T)] \quad [10.8]$$

obtenemos el resultado obvio de que cuanto mayor es el alcance menor es la imprecisión, y a la inversa. Efectivamente: sumando [10.6] y [10.8] obtenemos:

$$C_r(T) + I_r(T) = (1/N) \sum_i V(t_i/T) \quad [10.9]$$

Cuando, a causa de la introducción de supuestos simplificadores, no hay imprecisiones teóricas de la derivación de las t_i , o sea, cuando $t \in T$, entonces la fórmula anterior se reduce a:

$$C_r(T) + I_r(T) = 1, \quad [10.10]$$

que es simplemente una dilucidación de la idea intuitiva de que la imprecisión es el dual del alcance. Y sumando las expresiones relativas al alcance y a la originalidad obtenemos:

$$C_r(T) + O_r(T) = (1/N) \sum_i V(t_i/T) + \frac{1}{2} \Pi_r(T) \quad [10.11]$$

$$= 1 + \frac{1}{2} \Pi_r(T) \text{ para } t_i \in T \quad [10.12]$$

La interpretación de esta fórmula no ofrece dudas: la proyectabilidad se compone de alcance y originalidad, pero de tal modo que no podemos maximizar ambos elementos al mismo tiempo. Ésta es una de las varias razones que aconsejan no confundir la potencia explicativa con la potencia predictiva; pero hay otras razones más (cf. sec. 10.5).

Ilustremos las anteriores fórmulas aplicándolas a una teoría T , $N \gg 1$ proyecciones de la cual se han contrastado empíricamente. Supongamos que, como frecuentemente ocurre, se han hecho aproximaciones al derivar las proyecciones; y supongamos también, por simplificar las cosas, que todas las aproximaciones introducen el mismo error teórico en porcentaje $\delta \ll 1$. Supongamos además que en toda contrastación se comete un error experimental, constante, ε , y que $0 \leq \varepsilon < 1$. Cierta número, R , de esas contrastaciones serán desfavorables (refutaciones), y otro número $C = N - R$, serán favorables (confirmaciones). Pasamos por alto la posibilidad, siempre presente, de contrastaciones inconcluyentes, o sea: hagamos la suposición simplista de que toda respuesta de experiencia es 'sí' o 'no'. Por lo que hace a la relación de las proyecciones al conocimiento antecedente, consideraremos dos casos extremos: (i) las t_i concuerdan todas con lo que se sabía antes de que se introdujera la teoría (*ortodoxia*); (ii) las t_i se encuentran todas en contradicción con el conocimiento antecedente (*heterodoxia*). En resumen, nuestros supuestos son:

Para todo i , $V(t_i/T) = 1 - 2\delta$.

Para todo i entre 1 y C , $V(t_i/E) = 1 - 2\varepsilon$ (Confirmación).

Para todo i entre $c + 1$ y N , $V(t_i/E) = -1 + 2\varepsilon$ (Refutación).

Con un breve cálculo se encuentran los siguientes valores:

Teoría conformista: para todo i , $V(t_i/A) = 1$:

Alcance: $C_r(T) = 1/2 + C/2N + (R - C) \varepsilon/2N - \delta$

Imprecisión: $I_r(T) = R/2N + (C - R) \varepsilon/2N - \delta$

Originalidad: $O_r(T) = \delta \cong 0$

Rendimiento proyectivo: $\Pi_r(T) = -R/N + (R - C) \varepsilon/N \cong -R/N$

Teoría no conformista: Para todo i , $V(t_i/A) = -1$:

Alcance: $C_r(T) = C/2N + (R - C) \varepsilon/2N - \delta$

Imprecisión: $I_r(T) = 1/2 + R/2N + (C - R) \varepsilon/2N - \delta$

Originalidad: $O_r(T) = 1 - \delta \cong 1$

Rendimiento Proyectivo: $\Pi_r(T) = C/N + (R - C) \varepsilon/N \cong C/N$

Lo mejor que puede ocurrirle a una teoría conformista es que encaje con experiencia nueva. En este caso $R = 0$ y $\Pi_r(T) = 0$; y lo peor que puede ocurrirle es que la experiencia nueva sea contraria a la teoría, $R = N$, en cuyo caso $\Pi_r(T) = -1$. Lo peor que puede ocurrirle a una teoría no conformista es que quede refutada, $C = 0$, en cuyo caso $\Pi_r(T) = 0$; pero si la teoría se confirma ($C = N$), su rendimiento proyectivo será máximo: $\Pi_r(T) = +1$. Es claro que nuestra preferencia por teorías de alto rendimiento proyectivo es una preferencia por teorías que *apuntan con precisión a gran número de hechos antes desconocidos*. En cambio, si estimáramos más el alcance (o el apoyo inductivo) que el rendimiento proyectivo, tendríamos que evitar nuevas teorías audaces y buscar más bien cautas sistematizaciones *ex post facto*.

El desideratum de rendimiento proyectivo máximo, entendido en el sentido que queda expuesto, parece estar en contradicción con el desideratum de consistencia óptima con el conocimiento aceptado (consistencia externa, cf. sec. 7.6). No hay contradicción, sin embargo, si estipulamos que la consistencia con el *núcleo* del conocimiento aceptado tiene que exigirse en todo caso y a toda teoría. Más precisamente: la nueva teoría no puede entrar en colisión más que con una parte de las creencias aceptadas, a saber, con la parte más vieja de la opinión establecida que la nueva teoría intenta rebasar. Pero la nueva teoría no exige una revolución simultánea en toda rama del conocimiento, ni debe tampoco violar los requisitos metacientíficos.

Nuestras fórmulas [10.2] y [10.4] sobre el rendimiento proyectivo de una teoría científica no pretenden suministrar un criterio tajante de la *aceptación* ni del *crédito* (grado de creencia racional o credibilidad) de una teoría. Primero, porque un alto rendimiento proyectivo no es la única propiedad valiosa que puede tener una teoría; vimos en la sec. 9.6 que también es valiosa la profundidad explicativa. En segundo lugar, porque ni siquiera el alto valor veritativo de las proyecciones de una teoría garantizan la verdad de la teoría misma, aunque no sea sino porque las mismas proyecciones habrían podido derivarse de supuestos diferentes. Por eso no hay que aceptar de modo definitivo ninguna teoría aunque su rendimiento proyectivo sea muy alto. Puede ocurrir que las N primeras proyecciones obtenidas con la ayuda de la teoría agoten el subconjunto de las proyecciones audaces y verdaderas, y que todas las demás (aún no deducidas ni contrastadas) sean trilladas o abiertamente falsas.

(Desde el punto de vista matemático, nuestras fórmulas sobre el rendimiento proyectivo de una teoría *no están bien determinadas*, puesto que en ellas $\Pi_r(T)$ depende del conjunto de proyecciones que efectivamente seleccionemos para contrastación. Puede incluso

ocurrir que nuestras fórmulas den valores diferentes para los rendimientos proyectivos de dos teorías de las que se haya mostrado que son empíricamente equivalentes. Para que tales fórmulas estuvieran bien determinadas tendrían que incluir el conjunto entero, $\{t_i\}$, de las proyecciones; o sea, la sumación sobre i tendría que llegar hasta $N = \infty$. En tal caso tendríamos fórmulas sobre la *potencia* proyectiva de las teorías, no ya sobre su efectivo rendimiento proyectivo. Pero tales fórmulas serían prácticamente inútiles, porque no podemos conocer las infinitas proyecciones derivables de un conjunto de supuestos. Y aunque pudiéramos deducirlas, contrastarlas y estimarlas, podría ocurrir que las sumas infinitas no fueran convergentes: por de pronto, los términos de esas sumas no obedecen a ninguna ley matemática, puesto que la verdad factual no es ninguna propiedad intrínseca. En resolución: el desideratum matemático de la determinación de las fórmulas es una condición sin interés en el caso de la cuantificación del rendimiento proyectivo. Lo mismo puede decirse de las fórmulas relacionadas con las vistas, especialmente de las referentes al alcance.)

Todo lo que nuestras fórmulas sobre el rendimiento proyectivo de una teoría tienden a dar es una grosera estimación de uno de los varios rasgos que pueden aconsejar la ulterior elaboración de una teoría, su discusión cuidadosa, su contrastación empírica y su aceptación provisional. Aún más: una estimación del rendimiento proyectivo, por ser a posteriori y depender de las técnicas de contrastación, puede cambiar en el curso del tiempo, a medida que se formulen y contrasten nuevas proyecciones, o a medida que se repita la contrastación de las proyecciones antes estimadas. Así, por ejemplo, el valor predictivo de la teoría newtoniana de la gravitación, considerado máximo hasta la mitad aproximadamente del siglo XIX, ha ido decayendo desde entonces, mientras que la teoría einsteiniana de la gravitación ha ido aumentando su potencia proyectiva desde sus comienzos hasta la mitad de la tercera década de este siglo. Esa potencia sigue constante hasta 1960 aproximadamente, y ha vuelto a aumentar luego, al obtenerse laboriosamente nuevas consecuencias de la teoría y confirmarse algunas de ellas empíricamente gracias a nuevas técnicas, como la de Mössbauer. Pero hay ya motivos para sospechar que incluso esta teoría resultará un día perfectible: una de esas razones es la intensidad con que está siendo de nuevo objeto de estudio.

En cierto sentido, pues, $\Pi(T)$ mide un aspecto del crecimiento del conocimiento; no el incremento de la capacidad de una teoría, sino más bien el crecimiento de la teoría misma. (La profundidad explicativa es otro índice del crecimiento del conocimiento.) Por otro lado, $\Pi(T)$ no es un índice de fiabilidad proyectiva, como lo sería si las teorías no fueran más que instrumentos (instrumentos de proyección). Consiguientemente, las estimaciones de (T) no tienen valor práctico. En el mejor de los casos, las anteriores fórmulas no sirven más que para fines de *dilucidación* de los conceptos de rendimiento proyectivo, originalidad y alcance. Esa dilucidación se ha hecho a base del concepto básico de verdad parcial, y no ha exigido ni el concepto de probabilidad ni la formulación de tesis epistemológicas u ontológicas de mucha entidad: es, por tanto, una dilucidación filosóficamente neutra (o sea, sin interés para ningún *ismo* filosófico).*

Problemas

10.4.1. Dar ejemplos de proyecciones tan imprecisas que o bien resultarán inevitablemente verdaderas o bien no puede imaginarse dato alguno relevante para ellas.

10.4.2. Mencionar casos destacados de teorías que hayan proyectado hechos previamente insospechados. Cf. (i) W. S. Jevons, *The Principles of Science*, Nueva York, Dover, 1958, cap. xxiv, secs. 6-11; (ii) W. B. Cannon, *The way of an Investigator*, Nueva York, W. W. Norton, 1945, cap. vi; (iii) R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, 2a. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, cap. iii. Comentar la relevancia de tales hechos para la difundida doctrina según la cual las teorías no son más que sistematizaciones de datos y, consiguientemente, tienen que llegar siempre después de haberse descubierto y “recogido” los hechos relevantes.

10.4.3. ¿Es la capacidad de predecir o retrodecir hechos enteramente nuevos una propiedad milagrosa? Indicación: mostrar que parece milagrosa sólo si (i) olvidamos que la base de una teoría propiamente dicha es un manojo de hipótesis de alto nivel cuyas consecuencias se deducen paso a paso, y (ii) adoptamos una visión del mundo radicalmente pluralista, según la cual ningún hecho ni propiedad se encuentra en relación objetiva y según leyes con otros hechos o propiedades. *Problema en lugar de éste*: Examinar el caso de la predicción de la radiactividad de los protones, confirmada experimentalmente en 1963. ¿Habría sido posible sin inventar una hipótesis referente al mecanismo de la degradación (a saber, la repulsión eléctrica)?

10.4.4. Una proyección cuantitativa debe ir acompañada por un enunciado referente a la estimación del error probable de la proyección (que generalmente es una predicción). ¿Pertenece este último enunciado al enunciado proyectivo mismo, o es un metaenunciado? En el primer caso, ¿cómo podría producirlo una teoría sustantiva? En el último, ¿por qué decimos que las proyecciones científicas se derivan de teorías y no decimos que se obtienen con su ayuda?

10.4.5. Examinar la propuesta de medir el contenido predictivo (de enunciados) con el concepto de probabilidad. Cf. (i) A. Rapoport, *Operational Philosophy*, Nueva York, Harper & Brothers, 1954, pp. 176-177; (ii) K. R. Popper, *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963, Addenda 1 y 2. Aun suponiendo que ese principio de medición fuera adecuado, ¿podría ampliarse a teorías enteras, teniendo en cuenta que las varias proyecciones derivadas de una teoría están lejos de ser todas lógicamente independientes unas de otras?

10.4.6. Proponer una manera de medir la precisión de las teorías. Indicación: Probar con $P_r(T) = 1 - I_r(T)$. Averiguar si la sustitución de $I_r(T)$ por $1 - P_r(T)$ en las fórmulas del texto arroja alguna claridad.

10.4.7. ¿Es [10.4] aplicable a la comparación de los rendimientos proyectivos de dos teorías rivales?

10.4.8. Intentar establecer una fórmula que dé el contenido proyectivo de una proyección, de tal modo que éste aumente con el contenido informativo y la contrastabilidad.

10.4.9. Dilucidar la noción de cuerpo del conocimiento aceptado y el concepto de compatibilidad de una teoría con el cuerpo del conocimiento aceptado. Indicación: Descomponer A en un conjunto A' que permanezca incólume, sin ser puesto en tela de juicio, por el momento, y un conjunto T'' de teorías discutibles.

10.4.10. Cuantificar el concepto de consistencia externa de tal modo que se convierta en el dual de la originalidad.

10.5. DIFICULTADES Y PARADOJAS

Vamos a estudiar ahora algunos sorprendentes rasgos de la proyección que no caracterizan la explicación. Empecemos por preguntarnos qué puede ser valor veritativo de una proposición proyectiva. Supongamos que el servicio meteorológico anuncia: 'Para mañana, tiempo lluvioso'. ¿Qué es ese enunciado hoy, es decir, antes de contrastarse con la observación de lo que ocurra mañana? ¿Es verdadero o falso? ¿Cómo podemos saberlo sin esperar a mañana? Y, si no sabemos el valor veritativo del enunciado, ¿podemos decir que exprese una proposición, es decir, una fórmula dotada de un determinado valor veritativo? Si negamos que la previsión tenga valor veritativo antes de contrastarla, tenemos que inferir que no es una proposición. Pero entonces tendremos que explicar el milagro consistente en que un conjunto de premisas de la proyección (generalizaciones y datos), de las que se supone que son proposiciones, puedan engendrar algo que no es una proposición. Si, por el contrario, afirmamos que nuestro enunciado predictivo tiene un valor veritativo ya antes de la contrastación, y, al mismo tiempo, admitimos que no sabemos cuál es ese valor veritativo, parece que estemos consagrando un reino platónico de las ideas que no puede ser completamente obra nuestra, puesto que no sabemos si cualquiera de ellas es verdadera o no. En cualquier caso parecemos sumirnos en el misterio.

La segunda dificultad es como sigue. Admitimos que, cuando el servicio meteorológico anuncia 'Para mañana, tiempo lluvioso', piensa que el hecho previsto es posible y hasta muy factible, pero no cierto. Ahora bien: si la previsión es verdadera en el momento que se le hace, entonces parece necesario que mañana llueva, lo cual está en contradicción con la afirmación de que la lluvia es meramente posible. Y si la previsión es falsa en el momento de su nacimiento, parece imposible que llueva mañana, lo cual también está en contradicción con la suposición de que la lluvia y su ausencia son meramente posibles. Para evitar una y otra conclusión tenemos que suponer que las previsiones no tienen valor veritativo o que los hechos a que se refieren no son posibles, sino imposibles o necesarios.

Supongamos, por último, que ya es el día objeto de la previsión y que efectivamente llueve. Podemos entonces decir justificadamente 'Llueve' o hasta 'Llueve según estaba previsto'. Pero ¿podemos decir que el enunciado 'Para mañana, tiempo lluvioso' se ha verificado, es decir, que ha resultado verdadero? La previsión no era 'Hoy, tiempo lluvioso', sino 'Para mañana, tiempo lluvioso', y parece que hoy no hay nada con lo cual comparar la previsión: el enunciado verdadero 'Llueve' no parece ser coherente con la previsión 'Para mañana, tiempo lluvioso' (lo cual sería un aparente fallo de la doctrina de la verdad como coherencia); por lo demás, la previsión 'Para mañana, tiempo lluvioso' no parece tampoco describir la lluvia que está cayendo ahora (fallo aparente, ahora, de la teoría de la verdad como correspondencia).

Empecemos por la última paradoja, porque es la más sencilla. No pasa de ser, en efecto, un mal truco del lenguaje ordinario. La paradoja se disuelve si se sustituye 'Para mañana, tiempo lluvioso' por 'Para el día tal, tiempo lluvioso', o sea, si se da la fecha exacta. Hasta aquí, pues, se salvan las teorías de la verdad como coherencia y como correspondencia. ¿Qué decir de la segunda paradoja, que contiene la categoría de la posibilidad? El modo más sencillo de salir de ella consiste en considerar los enunciados proyectivos como

meramente posibles: en vez de insistir en que “Para mañana, tiempo lluvioso” tiene que ser verdadera o falsa, podemos decir que es simplemente posible para “Para mañana, lluvioso” el ser verdadera o falsa. Otra solución consiste en atribuir posibilidad a los hechos mismos, no a las proposiciones que los expresan: o sea, afirmar “Probablemente lloverá mañana”, o “Es probable que llueva mañana”. Pero la previsión no puede reinterpretarse a voluntad, puesto que se ha deducido de premisas determinadas; tales reinterpretaciones a voluntad violarían el requisito de cierre semántico (cf. sec. 7.2). Si sostenemos que el autor de la previsión quiere decir forzosamente que probablemente lloverá mañana, en el sentido de que el tiempo muestra cierta tendencia a ser lluvioso, entonces debemos mostrar que por lo menos una de esas premisas era un enunciado probabilístico, puesto que los enunciados de probabilidad no pueden deducirse más que de otros enunciados de probabilidad. Y esto puede ser falso, especialmente si la previsión se hizo con base en consideraciones de física de la atmósfera, más que con la ayuda de generalizaciones de nivel bajo. (De paso, por lo demás, lo que inicialmente era una previsión bien determinada se ha convertido en una profecía imprecisa o incontrastable.)

Vamos a probar suerte con la primera reinterpretación, a saber, que la proposición “Para mañana, tiempo lluvioso” debe considerarse como posible o recibir un tercer valor veritativo (indeterminado). Ésta fue, dicho sea de paso, la propuesta que dio origen a la lógica de tres valores. Pero entonces tendremos que seguir esa indeterminación hacia atrás, hasta las premisas que implican la previsión, y esto va también contra el principio de cierre semántico. Ahora bien: si declaramos que las generalizaciones o los datos son posibles o indeterminados, tenemos que ser consecuentes y adoptar una nueva lógica durante toda la argumentación: algún sistema de lógica modal en el primer caso y un cálculo de tres valores en el último. Pero esto sería ya literatura de ficción científica: en la ciencia factual, y para la derivación de proyecciones, utilizamos siempre las teorías lógicas y matemáticas ordinarias (extensionales y de dos valores) que van ya incluidas en ella. Consiguientemente, la introducción de las modalidades y de valores veritativos indeterminados en este momento es lógicamente ilegítimo. El procedimiento sería legítimo si el conjunto de la matemática y la ciencia factual se reformulara a base de algún sistema de lógica no-ordinaria. Pero este proyecto, además de ser utópico, tendría la indeseable consecuencia de que el número de las proposiciones incontrastables crecería más allá de todo límite (cf. secs. 5.6 y 10.4, sobre la incontrastabilidad de los enunciados de posibilidad).

Lo mismo vale para nuestra primera paradoja, que es la más grave de todas: de hecho, cuando derivamos una proyección utilizamos la lógica ordinaria y/o la matemática; esto implica que, para fines de inferencia, suponemos que nuestras premisas tienen un valor veritativo definido, aun sabiendo que por lo común son groseras aproximaciones y que los valores veritativos que se les atribuyen tendrán posiblemente que modificarse una vez contrastada la proyección. Dicho brevemente: entendemos nuestras premisas como proposiciones; si no fuera así no seríamos capaces de manejar la máquina lógico-matemática. ¿Nos obliga esto a profesar el platonismo? Sí, si se mantiene la corriente teoría monista de la verdad; no, si se adopta una *teoría dualista de la verdad*, compatible con una gno-seología falibilista. Esta teoría supone que toda premisa factual que se presenta en un razonamiento (por ejemplo, en la derivación de una predicción) se afirma como pura y

simplemente verdadera (o falsa) *en interés del razonamiento*, y, al mismo tiempo, como aproximadamente verdadera, a lo sumo, por lo que hace a su correspondencia con los hechos, según contrastación empírica. Dicho de otro modo: para fines inferenciales tratamos las premisas del projectans *como si* fueran completamente verdaderas (o falsas), aunque podamos a veces presumir con fiabilidad que son parcialmente verdaderas.

La teoría dualista de la verdad parece corresponder al procedimiento realmente seguido en la investigación: pues al elaborar las consecuencias contrastables de nuestros supuestos iniciales, adelantamos la *ficción* inicial de que nuestras premisas son enteramente verdaderas, razón por la cual las llamamos premisas o supuestos. En realidad, en esos casos estamos diciendo o afirmando implícitamente: 'Supongamos que las generalizaciones G y los datos C son verdaderos: supongámoslo sólo en interés del razonamiento; entonces la proyección p se sigue de ellos, y p es verdadera en ese supuesto. A pesar de ello, desconfiemos de p , y consiguientemente de G y C , y sometamos p a contrastaciones. Sobre la base de éstas atribuyamos a p un nuevo valor veritativo (que en general diferirá de la estimación inicial). Por último, atribuyamos a las premisas un valor veritativo de acuerdo con los resultados de la contrastación, y corrijámoslos si es necesario (cf. fig. 10.12).

Si atribuimos a las premisas de nuestra proyección dos valores veritativos, uno teórico y otro empírico, entonces las proyecciones derivadas de ellas tendrán también un *status* dual: nuestra fórmula proyectiva será teóricamente verdadera si la inferencia proyectiva es exacta, pero carecerá de valor veritativo empírico mientras no está contrastada. Dicho brevemente: antes de contrastar el teorema p_i , no le atribuimos un valor veritativo total, sino sólo una verosimilitud previa o anterior, o sea, un cierto grado de verdad sobre la base de la teoría T , en la que está deducido, y del conocimiento antecedente A . (Esta dualidad quedó recogida en nuestro tratamiento del rendimiento proyectivo, en la sec. 10.4.) No se trata de que nuestra proyección p tenga constantemente un valor veritativo empírico que no podamos aún *conocer*: nuestra proyección no tiene más que la capacidad de admitir tal propiedad y el que la adquiera o no dependerá de circunstancias extrínsecas, como la viabilidad técnica y el interés de la contrastación empírica. También podemos decir que una proyección, mientras no ha sido contrastada, es potencialmente verdadera o falsa por lo que hace a la experiencia: puede adquirir un valor veritativo empírico, pero también es posible que nadie se moleste en ponerlo a prueba; de modo que no es cosa de necesidad el que una proyección adquiera un valor veritativo empírico. Además: mientras que el valor veritativo anterior o previo o la verosimilitud previa de

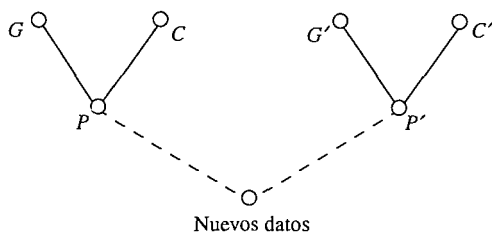


FIGURA 10.12. Corrección posterior de las premisas: la contrastación nos obliga a adoptar p' en vez de p , y p' nos obliga a buscar nuevas premisas G' y C' .

una proyección pueden ser altos (si no se añaden simplificaciones en su derivación a partir de las premisas dadas), su valor veritativo empírico puede encontrarse en cualquier punto entre la falsedad y la verdad.

Ahora bien: las contrastaciones empíricas que nos permiten atribuir un valor veritativo completo (empírico y teórico) a una proyección pueden no ser definitivas. Una proyección cualitativa, como “Para mañana, tiempo lluvioso”, puede en muchos casos formularse con ese carácter definitivo, de una vez para siempre. En cambio, las contrastaciones de una proyección cuantitativa pueden tener que repetirse, y es posible que no coincidan los varios resultados, a causa de la diversidad de técnicas y de circunstancias. La decisión, si es que podemos conseguirla, será provisional y variará en el curso del tiempo. Dicho brevemente: los valores veritativos empíricos *dependen del tiempo* (cf. fig. 10.13). Esa afirmación escandalizará seguramente a los platónicos y a los que no piensan más que en la verdad formal (lógica o matemática). Pero es exactamente lo que entiende todo el mundo cuando dice que una determinada predicción *puede resultar verdadera en alguna medida* en el futuro.

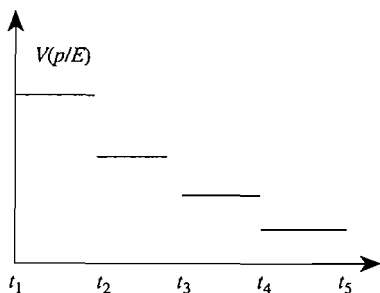


FIGURA 10.13. La dependencia de la verdad empírica respecto del tiempo: contrastaciones empíricas sucesivas, practicadas en los tiempos $t_1, t_2 \dots$ pueden dar valores veritativos empíricos diferentes $V(p/E)$ para la proyección p .

La tesis de que la verdad empírica es dependiente del tiempo podría ignorarse diciendo que el predicado ‘es verdadero’ es tan independiente del tiempo como de la temperatura o de la situación política. Pero esa objeción es meramente analógica y se basa en una incomprensión de la naturaleza del tiempo, el cual es una variable física sin eficacia causal. La proposición “ p es verdadera en el tiempo t ” es una abreviatura de la siguiente proposición más larga: “ p resulta verdadera a tenor del conocimiento previo y la evidencia empírica disponibles en el tiempo t ”. O también: “ p resulta verdadera a tenor del conocimiento antecedente y de la evidencia empírica disponible al producirse el hecho x ”. (La variable temporal es siempre eliminable mediante una referencia a hechos contemporáneos.) Decir que la verdad depende del tiempo es, pues, lo mismo que decir que los valores veritativos se atribuyen siempre en base a un cuerpo de conocimiento que cambia en el tiempo. Dicho de otro modo: decir que la verdad depende del tiempo equivale a decir que la verdad es contextual, que no es una propiedad intrínseca de las proposiciones, sino que es relativa al sistema que efectivamente se utilice en la atribución de valo-

res veritativos. O sea: la verdad factual no es *inherente* a las proposiciones, sino que se afirma *de* las proposiciones, lo cual requiere el uso de metaenunciados. Una proposición factual *p* requiere un metaenunciado epistémico *P* referente al valor veritativo de *p*, y *P* depende tanto de *p* cuanto del conocimiento disponible, así como de los criterios veritativos adoptados en el momento de practicar la estimación (recuérdese lo dicho en la sec. 2.1).

Así pues, la verdad y la falsedad factuales no son caracteres innatos, sino adquiridos. Somos nosotros los que atribuimos a cada proposición factual (ya ella misma obra nuestra) ora un valor veritativo, ora otro, según se desarrolle el cuerpo general del conocimiento disponible. Y ello es así hasta el punto de que muchas veces ni siquiera nos preocupamos de atribuir un valor veritativo empírico a una proposición dada, porque la tarea puede no tener valor práctico, o quedar más allá de nuestras actuales posibilidades. Y una situación así no es paradójica, porque, para que una fórmula pueda considerarse como una proposición propiamente dicha, tiene que poseer *algún* valor veritativo, y la teoría dualista de la verdad tiene en cuenta la situación descrita, al postular que toda proposición, para merecer un examen crítico, tiene que pertenecer a algún contexto, en el cual se le atribuye un determinado valor veritativo teórico, completamente aparte de lo que pueda decir al respecto la experiencia.

La teoría dualista de la verdad resuelve, pues, la primera paradoja de la proyección. La cuarta es como sigue: supongamos que olvidemos el proceso por el cual se atribuye a una proyección un valor veritativo y que recaigamos en el punto de vista ingenuo según el cual la proposición es de un modo intrínseco factualmente verdadera o falsa. Tenemos entonces dos posibilidades: o bien la proyección es verdadera —pero entonces no necesitamos esperar que se produzca o resulte no producible el hecho proyectado— o bien la proyección es falsa —y en este caso hay aún menos razón para esperar su contrastación empírica. En cualquier caso, pues, el supuesto de que las proyecciones nacen ya con un valor veritativo total lleva a la conclusión de que la experiencia es irrelevante. Por tanto, habría que inferir de aquel supuesto que las proyecciones son proposiciones analíticas. Esta absurda consecuencia se sigue de la suposición de que las proposiciones factuales tienen un valor veritativo único; si se sustituye ese supuesto por la tesis del valor veritativo doble (teórico y empírico) de toda proposición factual, se disuelve sin más el rompecabezas.

Nuestro quinto problema ha sido causa de insomnio para escépticos y empiristas durante dos mil años. Es el problema que puede formularse así: “¿Por qué hemos de confiar en ciertas predicciones?” Hume (1740) pensaba que ni la lógica ni la experiencia dan fundamento a esa confianza. He aquí un resumen de su razonamiento: la predicción es “la trasposición de la experiencia pasada al futuro”. Esa trasposición exige el supuesto de que “el futuro se parece al pasado”. Pero ese supuesto se deriva enteramente del hábito, no arraiga en la naturaleza de las cosas. No es en absoluto necesario que se mantenga en el futuro la conjunción frecuente o constantemente observada de varios hechos; no tenemos razón alguna para suponer que esa conjunción persistirá más allá de las series de observaciones, y la lógica por sí misma es también importante para garantizar eso. En conclusión: nuestra creencia o seguridad en nuestras previsiones es completamente arbitraria.

Hume tenía desde luego razón al afirmar la *falibilidad* de la predicción; pero eso no implica que la predicción aproximada sea completamente arbitraria, carezca de todo fun-

damento. Aún más: las razones que da Hume para llegar a esa conclusión no son válidas. En primer lugar, Hume no está pensando en la predicción *científica*, sino en la prognosis ordinaria que se basa en *generalizaciones de sentido común referentes a la sucesión, la conjunción, la correlación o las frecuencias empíricamente halladas*, como, por ejemplo, “De cada veinte naves, una no vuelve a puerto” (ejemplo favorito de nuestro autor). Ahora bien: el pronóstico ordinario es en la mayoría de los casos, según las palabras de Hume, una *trasposición de la experiencia pasada al futuro*, pero la predicción científica es una operación conceptual que trasciende la experiencia porque se basa en enunciados de leyes, y no en resúmenes inductivos. A diferencia del pronóstico ordinario, la predicción científica no necesita anticipar la repetición del pasado: podemos predecir hechos de una clase aún no experimentada, y hasta hechos que van a ocurrir por vez primera en la historia del mundo, como por ejemplo, la trayectoria de un cohete dirigido a Venus. En segundo lugar, es sin duda cierto que las “leyes” del conocimiento común no tienen por qué mantenerse siempre, y ello es particularmente el caso de los enunciados acerca de conjunciones y sucesiones regulares cuyos mecanismos ignora aquel conocimiento ordinario. Pero la situación cambia completamente cuando se descubre el mecanismo de la producción de tales apariencias, esto es, cuando se establecen leyes y teorías representacionales (no-fenomenológicas). Aún más: no existen *leyes fenomenológicas* propiamente dichas; en el terreno de lo fenomenológico no hay más series temporales, más o menos al azar, de experiencia sin potencia predictiva. Por esa razón tiene el científico que formular hipótesis acerca de cosas y propiedades diafenoménicas cuando quiere descubrir leyes en sentido propio. Hume tenía razón al negar a las *secuencias fenoménicas*, incluso a las pocas que son regulares, estabilidad y, por tanto, potencia predictiva y fiabilidad, pero se equivocó al creer que esas son las únicas regularidades que podemos conocer. Si la sucesión regular del día y la noche fuera una mera idiosincrasia del hombre, no tendríamos razón alguna para esperar que siga produciéndose; pero esto no tiene nada que ver con los enunciados o la predicción nomológicos, tal como los practica el científico.

Precisamente esa nueva manera crítica de considerar las regularidades fenoménicas utilizadas en los pronósticos del sentido común fue posible por la nueva ciencia mecanicista que empezó a florecer un siglo antes de que Hume escribiera, pero que él ignoró lisa y llanamente en su discusión de la previsión. (Y aún más asombroso que esa ignorancia es el hecho de que la doctrina de Hume, según la cual la predicción es una clase de inducción y se basa en generalizaciones empíricas, siga siendo la creencia más difundida al respecto al cabo de tres siglos de ciencia teórica.) Lo que queda del análisis de la previsión por Hume es la tesis de que la predicción es falible, aunque por razones muy distintas de las que él adujo: una predicción científica puede fallar porque la teoría que la posibilite no sea lo suficientemente verdadera, porque la información utilizada no sea lo suficientemente precisa, o porque haya fallado algo en la derivación misma de la predicción, por errores o por simplificaciones demasiado drásticas en la aplicación de la teoría. Lo mismo puede decirse, naturalmente, de la retrodicción. Debemos desconfiar de *cada particular predicción* y confiar al mismo tiempo en la capacidad que tiene la ciencia de realizar frecuentemente proyecciones con éxito y, particularmente, de mejorar sus rendimientos de cada momento. Debemos ser falibilistas, pero no escépticos, porque conocemos el mecanismo mediante el cual pueden mejorarse las proyecciones, a saber, la cons-

trucción de teorías cada vez más fuertes y más profundas, la producción de información cada vez más precisa y la realización de derivaciones cada vez más exactas. El progreso por esa vía no eliminará del todo la incertidumbre: seguiremos haciendo proyecciones incompletas y erradas. Pero aprenderemos de esos errores, o sea, corregiremos gradualmente las premisas de nuestras proyecciones equivocadas. El principio de legalidad (cf. sec. 6.8) nos sostiene en esta esperanza de progreso, pues la proyección científica presupone un universo según leyes y un proyector que las obedezca. La proyección sería efectivamente imposible en un universo caótico, en un mundo hecho por Hume o por James, en el que no hubiera construcciones ni conexiones objetivas y en el cual pudiera ocurrir cualquier cosa en cualquier circunstancia.

Sexta paradoja: ¿cómo podemos predecir una novedad radical sin privar al mismo tiempo al hecho de su novedad? Por ejemplo, si predecimos que si se realizan tales y cuales operaciones aparecerá un compuesto químico nunca visto con tales o cuales propiedades, ¿qué novedad se tendrá cuando efectivamente se produzca la sustancia? La paradoja se produce por la suposición tácita de que existe una sola clase de novedad, cuando en realidad hay tres clases de novedad implicadas en la situación: conceptual, empírica y ontológica. La producción efectiva del nuevo compuesto no es conceptualmente nueva, puesto que ha sido predicha; pero es empíricamente nueva, puesto que nunca se había tenido experiencia de ella; y es también ontológicamente nueva, puesto que no había existido nunca antes –o, al menos, así lo creemos.

Nuestra séptima paradoja está íntimamente relacionada con la anterior. Supongamos que la ciencia fuera a alcanzar en algún momento un estado de perfección en el cual no hiciera más que proyecciones precisas y exactas: ¿supondría ello la extirpación de novedad radical en el futuro? Si admitimos que la predecibilidad perfecta hace imposible la novedad radical, caemos en la paradoja anterior. Si admitimos que la predecibilidad completa es compatible con la novedad ontológica, parece que quedemos obligados a reconocer que la novedad futura es necesaria, predeterminada o preordenada. Dicho brevemente: la predecibilidad parece implicar la eliminación del azar y de la libertad, y, por tanto, el progreso científico sería terrible. La raíz de este rompecabezas es, naturalmente, la conjetura según la cual es posible la predicción perfecta, de tal modo que pudiéramos prever con exactitud todo acontecimiento y todo error posible, con lo que estarían dados los medios para evitarlo. Pero el hecho es que para alcanzar ese estado de bienaventuranza necesitaríamos disponer de toda teoría concebible y de infinitos elementos de información, cosa técnicamente imposible. Mas, aun poseyendo todo eso, seríamos incapaces de matar el azar y la libertad, porque si las premisas necesarias para la predicción exacta fueran de verdad perfectas, tendrían que recoger los rasgos casuales objetivos de la realidad y de los actos de la libre volición humana. Lo cual implica que las premisas perfectas reservarán un lugar para los hechos impredecibles. O sea: un conocimiento perfecto tiene que tener en cuenta hechos impredecibles (recuérdese el problema 10.3.6); pero, en cualquier caso, puede predecirse que no se conseguirá nunca un conocimiento perfecto. El futuro quedará siempre abierto por las dos razones: no sólo porque siempre se escaparán a la ciencia algunos grumos de realidad, sino también porque cada vez somos más dueños de la realidad, y eso exige que relajemos algunos vínculos y dejemos entornada la puerta del futuro. Y eso resuelve la paradoja.

Octavo rompecabezas: lo que la ciencia retrodice no existe ya, lo que predice no existe aún, y lo que describe se convierte en pasado. ¿Cómo podemos entonces decir que la proyección científica se refiera a la realidad y que la ciencia trate de la realidad? ¿No trata principalmente con hechos irreales? La fuente de esta paradoja es clara: al formular la pregunta construimos la palabra 'realidad' según su sentido más estricto, el de actualidad, o sea: la suma total de lo que existe ahora (respecto de cierto marco de referencia). Pero eso no es lo que corrientemente entiende por 'realidad' el científico. Por ejemplo, cuando el físico dibuja un diagrama espacio-temporal que muestra la historia de una partícula en movimiento en un determinado campo de fuerza, supone que real es toda la historia del sistema dado, y no sólo su presente instantáneo. La paradoja se disuelve, pues, con una simple redefinición del concepto "realidad" como la suma total de existentes en algún momento; o, lo que es lo mismo, redefiniendo el concepto "actualidad" como el subconjunto de las entidades que son reales ahora (en un determinado marco de referencia).

Novena paradoja: ¿cómo es posible derivar proposiciones acerca de hechos pasados o futuros a partir de fórmulas que pueden no contener la variable temporal? Por ejemplo: las leyes de la psicología que relacionan la intensidad de los estímulos con las respuestas de ciertas clases suelen ser leyes estáticas, en el sentido de que no se refieren a procesos; pero dado un determinado estímulo en un determinado momento, esas leyes nos permiten predecir el valor de la reacción subsiguiente. La paradoja resuelve si se recuerda que las leyes estáticas contienen tácitamente cuantificaciones universales de la variable temporal, al menos sobre intervalos temporales sin especificar. Y así, cuando afirmamos que el estímulo E desencadena una relación R invariablemente relacionada con E por una determinada función F —o sea, cuando escribimos la fórmula " $R = F(E)$ ", que presenta la correspondencia entre E y R —, estamos afirmando implícitamente que esa relación funcional no cambia con el tiempo. (Más detalladamente: "Para todo t y para todo x , si t es un instante de tiempo y x es un organismo, entonces $R(x, t) = F[E(x, t)]$ ". Una formulación más exacta haría depender el valor de la respuesta t del valor del estímulo en un momento anterior, o acaso de los valores del estímulo durante un entero intervalo temporal.) Se encontrará un valor específico de la variable temporal en un enunciado proyectivo si éste constituye una respuesta adecuada a la pregunta '¿Cuándo ocurrió (u ocurrirá) x ?' Pero si la pregunta es '¿Qué ocurrió (u ocurrirá)?', la respuesta no tiene por qué contener un valor temporal. En cambio, el tiempo se presentará siempre en los procesos mentales de derivación de un enunciado proyectivo: esta operación requiere tiempo y, por tanto, si las premisas se formulan en un determinado momento, la proyección se formulará en un momento posterior. Y ese momento puede ser incluso posterior al hecho proyectado mismo, ya porque se trate de una retrodicción, ya porque el hecho ocurra mientras la proyección se derivaba o calculaba (como frecuentemente ocurre en la derivación de previsiones balísticas y meteorológicas).

He aquí nuestra décima y última paradoja: ¿Por qué es la proyección diferente de la explicación si ambas tienen la misma estructura lógica, esto es, si ambas son deducciones a partir de generalizaciones y de datos? Empecemos por enumerar rápidamente algunas de las diferencias entre los dos tipos de inferencia. (i) Lo dado en el caso de la explicación es la conclusión de una argumentación que hay que reconstruir, mientras que en el caso de la predicción lo dado son las premisas, y lo que se busca es la conclusión (cf. sec.

9.1). (ii) Cualquier sistema de conjeturas, científico o no, puede suministrar explicaciones, mientras que sólo las teorías científicas cargan con el riesgo de formular proyecciones; así, por ejemplo, la física de Aristóteles y el psicoanálisis no intentan siquiera hacer predicciones. Sólo las explicaciones científicas pueden controlarse por medio de proyecciones. (iii) La relación de explicación, “ q porque p ”, puede establecerse entre fórmulas de cualesquiera niveles de una teoría, e incluso entre fórmulas pertenecientes a diferentes teorías, mientras que las fórmulas predictivas tienen que ser del nivel más bajo; así, por ejemplo, no hacemos predicciones nomológicas de leyes, aunque a veces anticipemos o pronostiquemos en esbozo su descubrimiento. (iv) Hay explicaciones de varias profundidades, según la profundidad de las teorías utilizadas; en cambio, no parece que tenga sentido el término ‘profundidad predictiva’. (v) Algunas teorías pueden dar explicaciones precisas de hechos singulares, como la emisión de luz por un átomo, o el contagio de un organismo por un virus, pero no dan proyecciones exactas de esos mismos hechos singulares: sus proyecciones se refieren a agregados de hechos individuales, o bien afirman que la probabilidad de un hecho singular es tal o cual: son proyecciones estocásticas (cf. sec. 10.2). Hemos enumerado cinco diferencias entre la explicación y la proyección; puede haber más. La explicación de la falta de identidad de dos operaciones lógicamente idénticas (puesto que ambas son deductivas) es simplemente que la lógica no distingue las diferencias extralógicas (por ejemplo, epistemológicas). Por tanto, lo único asombroso que tiene nuestra última paradoja es el que la mayoría de los filósofos sean incapaces de apreciar las diferencias entre proyección y explicación.

Lo que precede puede leerse como una diversión filosófica. Pero nuestros rompecabezas han sometido ciertas teorías filosóficas, como la teoría de la verdad y la de la determinación, a unas pruebas bastante cansadas. Y han mostrado que el concepto de proyectabilidad no puede tomarse como un concepto primitivo con el cual definir los conceptos de verdad, ley, causalidad y azar, como hacen las filosofías que consideran la predecibilidad como el principal desideratum de las teorías científicas y rechazan los conceptos de novedad objetiva, ley objetiva, rasgos objetivos causales y rasgos objetivos casuales. El metacientífico estima el rendimiento proyectivo sobre todo por su indicación de contrastabilidad, la cual es una puerta grande hacia la verdad factual. Sólo el científico dedicado a la aplicación y el hombre de acción pueden tener derecho a considerar la predicción como el único o principal objetivo de la ciencia, porque ella es la base de la acción racional. Pues la predicción echa un puente para salvar el hiato entre la ciencia y la acción. Por ese puente vamos a pasar ahora.

Problemas

10.5.1. Examinar la doctrina de Hume sobre la predicción, tal como está expuesta en su principal obra filosófica, *A Treatise of Human Nature* (1739-40), Book I, parte III, sec. XII. *Problema en lugar de ése*: Las promesas y las amenazas, tanto incondicionales (por ejemplo, “Haré x ”) cuanto condicionales (por ejemplo, “Si x hace y , yo haré z ”), son lingüísticamente idénticas, aunque son psicológicamente diferentes. Comparar las promesas y las amenazas con las previsiones, incondicionales y condicionales, y averiguar si difieren o no lingüísticamente. En cualquier caso, inferir alguna

conclusión sobre la adecuación del análisis lingüístico para el estudio de la predicción científica.

10.5.2. El empirismo ha sostenido tradicionalmente que la predicción es una inferencia inductiva, e incluso la clase más típica o más fundamental de inducción. Esto se refiere no sólo a autores clásicos, como Hume y Mill, sino también a autores contemporáneos, como H. Reichenbach, *Experience and Prediction*, 1938, Chicago, University of Chicago Press, 1961, sec. 38; H. Jeffreys, *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1957, pp. 1 y 13; G. H. von Wright, *The Logical Problem of Induction*, 2a. ed., Oxford, Blackwell, 1957, p. 1; R. Carnap, *Logical Foundations of Probability*, Chicago, University of Chicago Press, 1950, p. 207; N. Goodman, *Fact, Fiction and Forecast*, Londres, Athlone Press, 1954, cap. III; A. Pap, *An Introduction to the Philosophy of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, pág. 144; J. J. Katz, *The Problem of Induction and its Solution*, Chicago, University of Chicago Press, 1982, pág. 5. Examinar esa opinión, particularmente la afirmación de que la inferencia predictiva no puede ser deductiva porque trasciende los hechos observados, ya que es una inferencia acerca de hechos desconocidos y partiendo de una muestra de hechos pasados, o sea, una extrapolación inductiva de uniformidades pasadas. Indicación: (i) ver si la doctrina se aplica a la predicción de hechos nuevos (como la predicción de la partícula omega-menos, descubierta en 1964); (ii) averiguar si se aplica al pronóstico del conocimiento ordinario.

10.5.3. En la página 575 de su influyente libro *Logical Foundations of Probability* (cf. problema 10.5.2), Rudolf Carnap sostiene que “el uso de leyes no es indispensable para hacer predicciones. Sin embargo, de ello es, desde luego, conveniente formular leyes universales en los libros de física, biología, psicología, etc.”. Si puede prescindirse de las leyes y si, como mantiene el positivismo tradicional, la predicción es lo principal de la ciencia, ¿por qué invierten tanto tiempo los científicos en inventar y contrastar los enunciados de leyes? ¿Simplemente porque son convenientes? Y si, por el contrario, las leyes son esenciales a la predicción científica, ¿por qué empeñecerlas? Tener en cuenta que el grado de confirmación se cuantifica como la razón de los casos favorables a los casos posibles.

10.5.4. Considerar la siguiente solución al problema del valor veritativo de una proposición que se afirme ahora como verdadera y dentro de un rato resulte falsa. “La proposición era falsa desde el principio, pero no nos dimos cuenta de ello. Lo que ha cambiado no es el valor veritativo, sino sólo nuestra estimación del mismo; los valores veritativos son propiedades intrínsecas y atemporales de las proposiciones.”

10.5.5. Examinar el problema que dio inicialmente origen al sistema de lógica de tres valores propuesto por J. Łukasiewicz, y averiguar si la ciencia usa o necesita una teoría lógica de esa naturaleza. Cf. W. y M. Kneale, *The Development of Logic*, Oxford, Clarendon Press, 1962, pp. 47ss. y 569. Sobre la tesis según la cual la mecánica cuántica requiere una lógica de tres valores. cf., por ejemplo, P. Destouches-Février, *La structure des théories physiques*, París, Presses Universitaires de France, 1951.

10.5.6. Según el pragmatismo clásico, las proyecciones son útiles o inútiles, verdaderas o falsas. Y una proyección útil (inútil) es la que tiene éxito (no lo tiene), o sea, una que da (no da) en el blanco. Pero ¿qué puede significar ‘tener éxito’ en ese contexto? ¿Y cómo explica el pragmatismo el éxito de algunas predicciones? *Problema en lugar de ése*: Estudiar la lógica de la esperanza. Indicaciones: (i) empezar por distinguir entre esperanzas piadosas y no piadosas, y explicitar sus respectivos fundamentos; (ii) estudiar la reacción entre la esperanza fundada y la predicción científica; (iii) averiguar qué justificación empírica pueden tener –si la tienen– las esperanzas.

10.5.7. Según el pragmatismo, el convencionalismo y el positivismo tradicional, la predicción es de toda importancia, mientras que la explicación es parasitaria. Precisar las motivaciones correctas y las erradas que tiene ese punto de vista. Entre las primeras motivaciones, el hecho de que las teorías especulativas ofrecen explicaciones, pero no predicciones; entre las últimas, la negati-

va a ir más allá de la experiencia. Piénsese en si podría haber proyecciones precisas sin teorías explicativas profundas; recuérdense las teorías de Ptolomeo sobre los movimientos planetarios. Y averiguar si el cultivador de las ciencias reales se interesa más por predecir que por explicar.

10.5.8. N. Wiener y A. N. Kolmogoroff iniciaron una teoría matemática *de la predicción* que suministra los medios para extrapolar el pasado conocido de alguna cantidad variable sobre sus valores futuros. (En la práctica, los “datos” considerados por la teoría constituyen una secuencia *infinita* de valores numéricos supuestamente tomados de observaciones hechas a intervalos iguales en el pasado. Los datos observacionales efectivos tienen que considerarse como una muestra representativa de esa infinita población imaginaria.) Si se perfeccionara ese procedimiento, ¿podría permitírnos el prescindir de teorías científicas sustantivas en lo que se refiere a la predicción? ¿O más bien suministra esa teoría una técnica para analizar series temporales en componentes mensaje y componentes ruido (cf. fig. 10.6 de la sec. 10.2), sugiriendo así leyes que luego pudieran teorizarse? Cf. N. Wiener, “The Theory of Prediction”, en E. F. Beckenbach (ed.), *Modern Mathematics for the Engineer*, 1a. serie, Nueva York, McGraw-Hill, 1956, y H. Furstenberg, *Stationary Process and Prediction Theory*, Princeton, Princeton University Press, 1960.

10.5.9. En algunos capítulos de la ciencia, como la sistemática botánica, no se hacen proyecciones. Examinar las siguientes “conclusiones” posibles: (i) Esas disciplinas no proyectivas son no-científicas. (ii) La proyección no es esencial a la ciencia: algunas ciencias son no-proyectivas. (iii) Los capítulos no-proyectivos de una ciencia son parte de sistemas más amplios que tienen potencia proyectiva, y su función es principalmente auxiliar respecto de esos sistemas más amplios. La división de la ciencia en capítulos proyectivos y no-proyectivos no puede justificarse más que por razones pragmáticas. Cf. Problema 10.1.10.

10.5.10. Suele suponerse que la proyección es posible a causa de la uniformidad de la naturaleza. ¿Qué puede entenderse por ‘uniformidad de la naturaleza’? Y suponiendo esa base ontológica de la proyección, ¿qué explicaría entonces cada fracaso en el proyectar?

BIBLIOGRAFÍA

- Bunge, M., *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 12.
 Grünbaum, A., *Philosophical Problems of Space and Time*, Nueva York, Knopf, 1963, cap. 9.
 Hanson, N. R., “On the Symmetry Between Explanation and Prediction”, *Philosophical Review*, 68, 349, 1959.
 —, “Mere Predictability”, en H. E. Kyburg, Jr., y E. Nagel (eds.), *Induction: Some Current Issues*, Middleton, Conn., Wesleyan University Press, 1963.
 Jevons, W. S., *The Principles of Science*, 1874, Nueva York, Dover, 1958, cap. xxiv.
 Körner, S. (ed.), *Observation and Interpretation*, Londres, Butterworths Sc. Publications, 1957, especialmente el artículo de W. B. Gallie, “The Limits of Prediction”, y el de G. Ryle, “Predicting and Inferring”.
 Meehl, P. E., *Clinical vs. Statistical Prediction*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1954.
 Popper, K. R., *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge & Kegan Paul, 1960, especialmente la sec. 28.
 —, *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963, cap. 16, sobre “Prediction and Prophecy in the Social Sciences”.
 Rashevsky, N., *Looking at History Through Mathematics*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1968.
 Reichenbach, H., *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley y Los Ángeles, University of California Press, 1951, cap. 14.

——, *Experience and Prediction*, 1938; Chicago University Press, 1961, sec. 38.

Rescher, N., "On Prediction and Explanation", *British Journal for the Philosophy of Science*, VIII, 281, 1958.

Scheffler, I., "Explanation, Prediction and Abstraction", *British Journal for the Philosophy of Science*, VII, 293, 1957.

Scriven, M., "Explanation and Prediction in Evolutionary Theory", *Science*, CXXX, 477, 1959.

——, "Explanations, Predictions and Laws", en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962, vol. 3.

Wold, H. (ed.), *Forecasting on a Scientific Basis*, Lisboa, Centro de Economia e Finanças, Instituto Gulbenkian de Ciência, 1967.

11. ACCIÓN

En toda ciencia, sea pura o aplicada, la teoría es a la vez la culminación de un ciclo de investigación y una guía para investigación ulterior. En las técnicas las teorías son, además de eso, la base de sistemas de reglas que prescriben el curso de la acción práctica óptima. Por otro lado, en las artes y oficios o bien no hay teorías o bien éstas son meros instrumentos de acción. Pero eso no se refiere a teorías enteras, sino sólo a su parte periférica; puesto que sólo las consecuencias de nivel bajo de las teorías pueden estar en contacto con la acción, son esos resultados finales de las teorías los que atraen la atención del hombre práctico. En épocas pasadas se consideraba que un hombre era práctico de algún arte cuando al obrar prestaba poca o ninguna atención a la teoría, o bien se basaba en teorías espontáneas del sentido común. Hoy día, un práctico es más bien una persona que obra según decisiones tomadas a la luz del mejor conocimiento tecnológico: no científico, porque la mayor parte del conocimiento científico está demasiado lejos de la práctica o incluso es irrelevante para ella. Y ese conocimiento tecnológico, hecho de teorías, reglas fundamentadas y datos, es a su vez un resultado de la aplicación del método de la ciencia a problemas prácticos (cf. sec. 1.5).

La aplicación de la teoría a fines prácticos plantea problemas filosóficos considerables y descuidados en gran medida. Tres de esos problemas —el de la capacidad confirmadora de la acción, el de la relación entre la regla y la ley y el de los efectos de la previsión tecnológica en el comportamiento humano— se estudiarán en este capítulo. Son meras muestras de un sistema de problemas que un día u otro deberían dar origen a una filosofía de la tecnología.

11.1. VERDAD Y ACCIÓN

Un acto puede considerarse *racional* si (i) es máximamente adecuado a un objetivo previamente puesto y (ii) el objetivo y los medios para conseguirlo se han escogido o realizado mediante el uso consciente del mejor conocimiento relevante disponible. (Esto presupone que ningún acto racional es en sí mismo un objetivo, sino que es siempre instrumental.) El conocimiento subyacente a la acción racional puede encontrarse en cualquier tramo del amplio espectro encerrado por los límites del conocimiento común y el conocimiento científico, pero en cualquier caso tiene que ser conocimiento propiamente dicho, no hábito ni superstición. Nos interesa aquí una clase especial de acción racional: la guiada, al menos en parte, por la teoría científica o tecnológica. Los actos de esta clase pueden considerarse *máximamente racionales*, porque se basan en hipótesis fundamentadas o contrastadas y en datos precisos, no en el mero conocimiento práctico o en la tradición acrítica. Una tal fundamentación no garantiza que la acción tendrá un éxito com-

pleto, pero suministra los medios para el perfeccionamiento gradual del acto. Es, en efecto, el único medio conocido para acercarse a los objetivos dados y mejorarlos incluso, igual que los medios para alcanzarlos.

Una teoría puede tener relevancia para la acción ya porque suministre conocimiento sobre los objetos de la acción, máquinas, por ejemplo, ya porque se refiera a la acción misma, por ejemplo, a las decisiones que preceden y guían la manufactura o el uso de máquinas. Una teoría del vuelo es del primer tipo, mientras que una teoría de las decisiones óptimas sobre la distribución del tránsito aéreo por una región es de la última clase. Las dos del ejemplo son *teorías tecnológicas*; pero, mientras que las de la primera clase son *sustantivas*, las de la segunda son *operativas* en cierto sentido. Las teorías tecnológicas sustantivas son esencialmente aplicaciones de teorías científicas a situaciones aproximadamente reales; así por ejemplo, una teoría del vuelo es esencialmente una aplicación de la dinámica de los fluidos. Las teorías tecnológicas operativas, en cambio, se refieren desde el primer momento a las operaciones de complejos hombre-máquina en situaciones aproximadamente reales; así por ejemplo, una teoría de la gestión de líneas aéreas no estudia los aviones, sino ciertas operaciones del personal. Las teorías tecnológicas sustantivas tienen siempre inmediatamente a sus espaldas teorías científicas, mientras que las teorías operativas nacen en la investigación aplicada y pueden tener poco —o nada— que ver con teorías sustantivas. Por esta razón matemáticos y lógicos con escaso conocimiento previo de teorías científicas del mismo campo pueden dar importantes contribuciones a dichas teorías operativas. Unos pocos ejemplos aclararán más la distinción sustantiva-operativa.

La teoría relativista de la gravitación puede aplicarse al trazado de generadores de campos antigravitatorios (campos que contrarrestan el campo gravitatorio terrestre), y esos campos pueden utilizarse a su vez para facilitar el lanzamiento de naves espaciales. Pero, como es natural, la teoría de la relatividad no se refiere particularmente ni a los generadores de campos ni a la astronáutica: se limita a suministrar parte del conocimiento relevante para planear y manufacturar generadores antigravitatorios. El geólogo aplicado que trabaja en prospecciones petrolíferas utiliza la paleontología, y los resultados a que llega en sus dictámenes son una base para la elaboración de decisiones para los equipos de sondeo; pero ni la paleontología ni la geología se ocupan directamente de la industria del petróleo. El psicólogo industrial puede utilizar la psicología en interés de la producción; pero la psicología no se ocupa directamente de la producción. Esos tres ejemplos lo son de aplicación de teorías científicas (o semicientíficas, según los casos) a problemas que surgen en la acción.

Por el otro lado las teorías del valor, de la decisión, la teoría de los juegos y la investigación operacional tratan directamente la estimación, la elaboración de decisiones, la planificación y la acción; pueden incluso aplicarse a la investigación científica considerada como una clase de acción, con la optimista esperanza de optimizar su producto. (Esas teorías no pueden decir cómo podría sustituirse el talento por otra cosa, pero sí cuál es el mejor modo de explotarlo.) Esas teorías son operativas, y hacen escaso uso —si es que hacen alguno— del conocimiento sustantivo suministrado por las ciencias físicas, biológicas o sociales: suelen bastarles el conocimiento ordinario, un conocimiento especializado, pero no científico (por ejemplo, de prácticas de inventario), y la ciencia formal. Basta

pensar en la cinemática estratégica aplicada al combate, o en los modelos de colas: no son aplicaciones de ninguna teoría científica pura, sino que son ellas mismas teorías independientes. Lo que utilizan esas teorías operativas o no-sustantivas no es el conocimiento científico sustantivo, sino el *método* de la ciencia. Tales teorías pueden, en efecto, considerarse científicas y dirigidas al tema de la acción: son, dicho brevemente, teorías de la acción. Son teorías tecnológicas respecto del objetivo, que es más práctico que cognoscitivo; pero, aparte de eso, no difieren grandemente de las teorías de la ciencia. De hecho, toda buena teoría operativa tendrá al menos los siguientes rasgos característicos de las teorías científicas: (i) no referirse directamente a piezas de realidad, sino a modelos más o menos idealizados de la misma (por ejemplo, contrincantes plenamente racionales y perfectamente informados, o demandas y suministros continuos); (ii) como consecuencia de lo anterior: utilizar conceptos teóricos (por ejemplo, “probabilidad”); (iii) poder absorber información empírica y enriquecer a su vez la experiencia suministrando predicciones o retrodicciones; (iv) ser, por tanto, empíricamente contrastable, aunque no tan rigurosamente como las teorías científicas (cf. fig. 11.1).

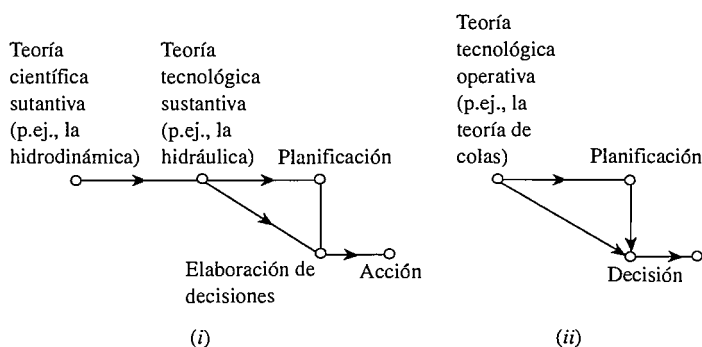


FIGURA 11.1. (i) La teoría tecnológica sustantiva se basa en la teoría científica y suministra al que toma las decisiones los instrumentos necesarios para planear y hacer. (ii) La teoría operativa se ocupa directamente de los actos del elaborador de decisiones o del actor.

Consideradas desde el punto de vista práctico, las teorías tecnológicas son más ricas que las teorías científicas en el sentido de que, lejos de limitarse a dar cuenta de lo que puede ocurrir, ocurre, ocurrió u ocurrirá, sin tener en cuenta lo que hace el que toma las decisiones, ellas se ocupan de averiguar *lo que hay que hacer* para conseguir, evitar o simplemente cambiar el ritmo de los acontecimientos o su desarrollo de un modo predeterminado. En cambio, desde un punto de vista conceptual las teorías tecnológicas son claramente más pobres que las de la ciencia pura: son siempre *menos profundas*, porque el hombre práctico, al que se dedican, se interesa principalmente por los efectos brutos que ocurren y que son controlables a escala humana: lo que quiere saber ese hombre es cómo puede conseguir que trabajen *para él* las cosas que se encuentran a su alcance, y no cómo son realmente las cosas de cualquier clase. Así, por ejemplo, el especialista en

electrónica no necesita preocuparse de las dificultades de las teorías cuánticas del electrón; y el investigador dedicado a la teoría de la utilidad, que compara las preferencias de los individuos, no tiene por qué profundizar en los orígenes de los esquemas de esas preferencias, lo cual es en cambio un problema de interés para el psicólogo. Consiguientemente, el investigador aplicado procurará esquematizar su sistema, siempre que ello sea posible, como *caja negra*: preferirá tratar variables externas (*input* y *output*), considerará todas las demás, en el mejor de los casos, como variables intermedias útiles y manejables, pero sin alcance ontológico, e ignorará todos los demás niveles. Precisamente por eso —o sea, porque sus hipótesis son superficiales—, no resultan más a menudo peligrosas las supersimplificaciones y los errores con que trabaja. (Lo que sí es peligroso es la trasposición de este planteamiento externalista a la ciencia misma: cf. sec. 8.5.) Pero de vez en cuando el tecnólogo se verá obligado a adoptar un punto de vista más profundo, representacional. Así, por ejemplo, el ingeniero molecular que planea nuevos materiales, por ejemplo, sustancias de macropropiedades determinadas de antemano, tendrá que utilizar determinados fragmentos de la teoría atómica y molecular. Pero pasará por alto todas las micropropiedades que no se manifiesten de modo apreciable al nivel macroscópico: en el fondo utiliza las teorías atómica y molecular como meros instrumentos. Y eso es lo que ha inducido a bastantes filósofos a creer erróneamente que las teorías científicas son *exclusivamente* instrumentos.

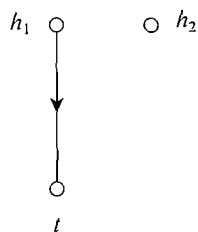
El empobrecimiento conceptual que sufre la teoría científica cuando se usa como un medio para fines prácticos puede ser tremendo. Por ejemplo: un físico aplicado que trabaje en el diseño de un instrumento óptico usará casi exclusivamente lo que se sabía de la luz a mediados del siglo xvii. No tomará en cuenta la teoría ondulatoria de la luz más que para explicar a grandes rasgos, y sin detalle, algunos efectos, por lo común indeseables, como la apariencia de los colores cerca de los bordes de la lente; pero rara vez —si es que lo hace alguna— aplicará alguna de las teorías ondulatorias de la luz (cf. sec. 9.6) al cálculo de tales efectos. En la mayor parte de su práctica profesional puede hacer como si ignorara esas teorías, por dos razones. Primero, porque los rasgos capitales de los hechos ópticos relevantes para la fabricación de la mayoría de los instrumentos ópticos quedan adecuadamente recogidos por la óptica del rayo luminoso; los hechos que no pueden explicarse así requieren simplemente la hipótesis (no la entera teoría) de que la luz consta de ondas y de que esas ondas pueden superponerse. Segundo, porque es sumamente difícil resolver las ecuaciones de las más profundas teorías ondulatorias, salvo en casos elementales que son por lo general de interés meramente académico (o sea, que sirven esencialmente para fines de ilustración o contrastación de la teoría). Basta pensar en la tarea de resolver la ecuación de onda con condiciones límites dependientes del tiempo, como las que representan el obturador móvil de una cámara cinematográfica. La óptica ondulatoria es científicamente importante porque es aproximadamente verdadera; pero para la mayor parte de la actual tecnología del ramo, es menos importante que la óptica del rayo luminoso, y su aplicación detallada a problemas prácticos en la industria óptica sería puro quijotismo. Lo mismo puede argüirse respecto del resto de la ciencia pura en relación con la tecnología. Y la moraleja de todo esto es que si la investigación científica se hubiera sometido dócilmente a las necesidades inmediatas de la producción, no tendríamos ciencia.

En el dominio de la acción, las teorías profundas o complicadas son ineficaces porque requieren demasiado trabajo para conseguir resultados que igual pueden obtenerse con medios más pobres, esto es, con teorías menos verdaderas, pero más simples. La verdad profunda y precisa, que es un desideratum de la investigación científica pura, no es económica. Lo que se supone que el científico aplicado maneja son teorías de gran *eficiencia*, o sea, con una razón *input/output* elevada: se trata de teorías que dan mucho con poco. El bajo coste compensará entonces la calidad baja. Y como el gasto exigido por las teorías más verdaderas y complejas es mayor que el *input* exigido por las teorías menos verdaderas —que son generalmente más sencillas—, la *eficiencia tecnológica* de una teoría será proporcional a su *output* y a la sencillez de su manejo. (Si tuviéramos razonables criterios de medición de uno u otro concepto podríamos postular la ecuación *Eficiencia de T* = *Output de T* × *Simplicidad operativa de T*.)

Si el *output* o producto técnicamente utilizable de dos teorías rivales es el mismo, entonces la simplicidad relativa de su aplicación (o sea, su simplicidad pragmática) será decisiva para la elección de una u otra por el tecnólogo; la adopción del mismo criterio por parte del científico puro significaría la rápida muerte de la investigación básica o de fundamentos. Y esto debe bastar para refutar la sentencia de Bacon —divisa del pragmatismo— según la cual lo más útil es lo más verdadero, así como para mantener la independencia de los criterios veritativos respecto del éxito práctico.

Si una teoría es verdadera puede utilizarse con éxito en la investigación aplicada (investigación tecnológica) y en la práctica misma, en la medida en que la teoría sea relevante para una y otra. (Las teorías fundamentales no son aplicables de ese modo, porque tratan de problemas demasiado alejados de los prácticos. Piénsese en lo que sería una aplicación de la teoría cuántica de la dispersión a los choques entre automóviles.) Pero la afirmación recíproca no es verdadera: el éxito o el fracaso prácticos de una teoría no son un índice objetivo de su valor veritativo. En realidad, una teoría puede tener éxito y ser falsa, y, a la inversa, puede ser un fracaso práctico y ser aproximadamente verdadera. La eficiencia de una teoría falsa puede deberse a alguna de las razones siguientes. En primer lugar, una teoría puede contener un gramo de verdad que sea lo único utilizado en las aplicaciones de la teoría. En realidad, una teoría es un sistema de hipótesis, y basta con que sean verdaderas o aproximadamente verdaderas unas pocas de ellas para acarrear consecuencias adecuadas, siempre que los ingredientes falsos no se usen en la deducción o sean prácticamente inocuos (cf. fig. 11.2).

FIGURA 11.2. Un teorema verdadero, *t*, que dé base a una eficaz regla técnica, puede a veces derivarse de una hipótesis verosímil, *h*₁ sin usar la hipótesis falsa (o incontrastable), *h*₂, que se presenta en la misma teoría.



Así es, por ejemplo, posible fabricar un acero excelente combinando exorcismos mágicos con las operaciones prescritas por esa técnica, como se hizo hasta comienzos del siglo XIX; y también es posible mejorar la condición de los neuróticos por medio del chamanismo, el psicoanálisis y otras prácticas de esa naturaleza, mientras se combinen con ellas otros medios realmente eficaces, como la sugestión, el condicionamiento, los tranquilizantes y, sobre todo, el tiempo.

Otra razón del posible éxito práctico de una teoría falsa puede ser que los requisitos de precisión se encuentran en la ciencia aplicada y en la práctica muy por debajo de los que imperan en la investigación pura, de tal modo que una teoría grosera y simple que suministre estimaciones correctas de órdenes de magnitud, y de un modo fácil y rápido, bastará muy a menudo en la práctica. Los coeficientes de seguridad ocultarán en cualquier caso los detalles más finos predichos por una teoría precisa y profunda, y esos coeficientes son característicos de la teoría tecnológica porque ésta tiene que adaptarse a condiciones que pueden variar dentro de un amplio marco. Piénsese en la variación de las cargas que tiene que soportar un puente, o en los varios individuos que pueden consumir una medicina. El ingeniero y el médico tienen interés en contar con seguros y amplios intervalos centrados en torno de valores típicos, y no en contar con valores exactos. Una mayor precisión carecería de interés y hasta de sentido, pues ahí no se trata de obtener contrastaciones. Aún más: una gran precisión de ese tipo daría lugar a confusiones, porque complicaría las cosas hasta tal punto que el blanco a que tiene que apuntar la acción se perdería bajo la masa de los detalles. La precisión, que es un objeto de la investigación científica, no sólo es irrelevante o hasta un estorbo en la práctica, sino que incluso puede ser un obstáculo a la misma investigación pura en sus estadios iniciales. Por las dos razones antes dadas —uso de sólo una parte de las premisas y escasa exigencia de precisión— infinitas teorías diversas y rivales pueden dar “prácticamente los mismos resultados”. El tecnólogo, y particularmente el técnico, está justificado al preferir la teoría más sencilla: en última instancia, lo que le interesa primordialmente es la eficiencia, no la verdad, conseguir cosas, no una comprensión más profunda de ellas. Por la misma razón pueden ser poco prácticas las teorías profundas y precisas: usarlas equivaldría a matar conejos con bombas nucleares. Sería tan absurdo —aunque no tan peligroso— como proponer la simplicidad y la eficiencia como criterios en la ciencia pura.

Una tercera razón por la cual la mayoría de las teorías científicas fundamentales no tienen interés práctico carece de relación con la manejabilidad y la robustez exigidas por la práctica, y tiene en cambio una raíz ontológica más profunda. Los actos prácticos del hombre tienen en su mayor parte lugar a su propio nivel, y ese nivel, como los demás, arraiga en los niveles inferiores, pero goza de cierta autonomía respecto de ellos, en el sentido de que no todo cambio que ocurra en los niveles inferiores tiene efectos apreciables en los superiores. Eso es lo que nos permite tratar la mayoría de las cosas a su propio nivel, apelando a lo sumo a los niveles inmediatamente adyacentes. Dicho brevemente, los niveles son en alguna medida estables: hay cierto margen de juego entre nivel y nivel, y ésta es una raíz del azar (casualidad debida a la independencia) y de la libertad (automoción en ciertos aspectos). Por eso para muchos fines prácticos bastarán teorías de un solo nivel. Hay que escoger teorías de muchos niveles sólo cuando se exige un conocimiento de las relaciones entre los varios niveles para conseguir un tratamiento por

“control remoto”. Los logros más interesantes en este respecto son los de la psicoquímica, cuyo objetivo es precisamente el control del comportamiento mediante la manipulación de variables que corresponden al nivel bioquímico subyacente a los fenómenos psíquicos.

Otra razón —la cuarta— de la irrelevancia de la práctica para la convalidación de teorías, incluso de teorías operativas que traten de la práctica misma, es que, en situaciones reales, las variables relevantes no suelen conocerse adecuadamente ni controlarse con precisión. Las situaciones reales son demasiado complejas para ello, y la acción real suele proceder con demasiada urgencia para permitir un estudio detallado, un estudio que empezara por aislar variables y combinar algunas de ellas en un modelo teórico. Como el desideratum en esos casos es la eficiencia máxima, y no la verdad, es corriente que se pongan en práctica simultáneamente varias medidas de ese orden práctico: el estratega aconsejará el uso simultáneo de armas de varias clases, el médico recetará varios tratamientos que supone concurrentes, y el político combinará promesas y amenazas. Si el resultado es satisfactorio ¿cómo podrá averiguar el práctico cuál de las reglas fue la eficiente y, por tanto, cuál de las hipótesis subyacentes era la verdadera? Si el resultado es insatisfactorio, ¿cómo podrá identificar las reglas ineficaces y las hipótesis subyacentes falsas? La distinción y el control cuidadosos de las variables relevantes y una estimación crítica de las hipótesis correspondientes a las relaciones entre esas variables no son cosas que puedan hacerse mientras se está matando, curando o persuadiendo a la gente, ni siquiera mientras se está produciendo cosas, sino sólo en el curso de la teorización y la experimentación científicas sensibles, tranquilas, planeadas y críticas. Sólo en el curso de la teorización o la experimentación *distinguimos* entre variables y *estimamos* su importancia relativa, las *controlamos* por manipulación o medición y *ponemos a prueba* nuestras hipótesis e inferencias. Por eso las teorías factuales, sean científicas o tecnológicas, sustantivas u operativas se contrastan empíricamente en el laboratorio, y no en el campo de batalla, en la sala de consultas o en la calle (‘Laboratorio’ se entiende aquí en un sentido amplio, para incluir cualquier situación que como las maniobras militares, permita un control razonable de las variables relevantes.) Ésa es también la razón por la cual la eficiencia de las reglas utilizadas en la fábrica, el hospital o la institución social no puede determinarse más que en circunstancias artificialmente controladas.

Dicho brevemente: la práctica no tiene ninguna fuerza convalidadora; sólo la investigación pura y aplicada puede estimar el valor veritativo de las teorías y la eficiencia de las reglas tecnológicas. A diferencia del científico, el técnico y el práctico no *contrastan* teorías, sino que las *usan* con finalidades no cognoscitivas. (El práctico no somete a contrastación ni siquiera las *cosas*, como herramientas o medicamentos, salvo en casos extremos: él se limita a usarlas, y es el científico aplicado el que en el laboratorio tiene que determinar sus propiedades y su eficiencia.) La doctrina de que la práctica es la piedra de toque de la teoría se basa en una incomprensión de la práctica y de la teoría, en una confusión entre la práctica y el experimento y en una confusión análoga entre la regla y la teoría. La pregunta “¿Funciona?”, que es pertinente respecto de cosas y reglas, no lo es respecto de teorías.

Pero podría argüirse que un hombre que sabe hacer algo está mostrando con eso que conoce ese algo. Consideremos las tres versiones posibles de esa idea. La primera puede condensarse en el esquema “Si x sabe cómo actuar (o producir) y , entonces conoce y ”.

Para refutar esa tesis basta con recordar que durante un millón de años aproximadamente el hombre ha sabido cómo hacer niños sin tener la más remota idea del proceso de la reproducción. La segunda tesis es el condicional inverso, a saber “Si x conoce y , entonces x sabe cómo obrar (o producir) y ”. Contraejemplos: sabemos algo acerca de las estrellas, pero no podemos producir estrellas; conocemos parte del pasado, pero no podemos ni tocarlo. Como los dos condicionales son falsos, también lo es el bicondicional “ x conoce y si y sólo si x sabe cómo obrar (o producir) y ”. En resolución, es falso que el conocimiento sea idéntico con el saber-hacer. La verdad es más bien ésta: el conocimiento *mejora* considerablemente las posibilidades del hacer correcto, y el hacer *puede* llevar a un mejor conocer (ahora que finalmente hemos aprendido que el conocer rinde), no porque la acción sea conocimiento, sino porque, en cabezas inquisitivas, la acción puede impulsar el planteamiento de problemas.

Sólo distinguiendo claramente entre conocimiento científico y conocimiento instrumental, o saber-cómo-hacer, podemos dar con una explicación de la coexistencia del conocimiento práctico con la ignorancia teórica, y de la coexistencia del conocimiento teórico con la ignorancia práctica. Si no fuera por eso seguramente no se habrían producido en la historia las siguientes combinaciones: (i) una ciencia sin su correspondiente tecnología (ejemplo: la física helenística); (ii) artes y oficios sin ciencia subyacente (ejemplos: la ingeniería romana y los actuales *tests* de inteligencia). Pero la distinción tiene que mantenerse también para explicar las fecundaciones cruzadas entre la ciencia, la tecnología y las artes y oficios, así como para explicar el carácter gradual del proceso cognoscitivo. Si, para agotar el conocimiento de una cosa, fuera suficiente producirla o reproducirla, entonces sin duda los logros técnicos serían el paso final de los respectivos capítulos de la investigación aplicada: la producción del caucho sintético, los materiales plásticos y las fibras sintéticas agotarían la química de los polímeros; la inducción experimental del cáncer en sujetos de laboratorio habría terminado con la investigación sobre esa enfermedad; y la producción experimental de neurosis y psicosis habría detenido definitivamente la psicología. El hecho es que seguimos haciendo muchas cosas sin entender cómo, y que conocemos muchos procesos (por ejemplo, la fusión del helio a partir del hidrógeno) que por ahora no somos capaces de controlar para fines útiles (en parte porque nos precipitamos a la tarea de alcanzar los fines antes de conseguir un ulterior desarrollo de los medios). Al mismo tiempo es verdad que las barreras entre conocimiento científico y conocimiento práctico, entre investigación pura e investigación aplicada, son límites que se están borrando. Pero eso no elimina sus diferencias, y el proceso no es sino el resultado de un planteamiento cada vez más científico de los problemas prácticos, o sea, de una difusión del método científico.

La identificación del conocimiento con la práctica no se debe sólo a un fallo en el análisis de ambos, o a la falta de análisis, sino también al legítimo deseo de evitar los dos extremos constituidos por la teoría especulativa y la acción ciega. Pero la contrastabilidad de las teorías y la posibilidad de mejorar la racionalidad de la acción no se defienden del mejor modo ignorando las diferencias entre el teorizar y el hacer, o afirmando que la acción es la contrastación de la teoría, porque esas tesis son falsas, y ningún programa defendible puede basarse en la falsedad. La interacción entre la teoría y la práctica y la integración de las artes y oficios con la tecnología y la ciencia no se consiguen proclamando

simplemente su unidad, sino multiplicando sus contactos e impulsando el proceso por el cual los oficios reciben una base tecnológica y la tecnología se convierte totalmente en ciencia aplicada. Esto supone la conversión de las recetas prácticas peculiares a los oficios en reglas fundadas, esto es, en reglas basadas en leyes. Consideremos ahora este problema.

Problemas

11.1.1. Informar acerca de algunas de las siguientes obras sobre la acción según planes: (i) G. Myrdal, *An American Dilemma*, 2a. ed., Nueva York, Harper and Row, 1962, especialmente los apéndices 1 y 2. (ii) H. Hart, "Social Theory and Social Change", en L. Gross (ed.), *Symposium on Sociological Theory*, Evanston, Ill., Row, Peterson, 1959, especialmente pp. 229ss; (iii) A. R. von Hippel, "Molecular Designing of Materials", *Science*, 138, 91, 1962.

11.1.2. Comentar el poema en el cual el confuciano Hsün Tzu (del siglo III antes de nuestra era) elogia el dominio de la naturaleza y condena el conocimiento puro vanamente buscado por los taoístas. Cf. J. Needham, *Science and Civilization in China*, Cambridge, Cambridge University Press, 1956, II, página 28: "Glorificáis a la Naturaleza y meditáis sobre ella; / ¿Por qué no domesticarla y regularla? / Obedecéis a la Naturaleza y cantáis sus alabanzas; / ¿Por qué no controlar su curso y usarla? / Contempláis las estaciones con reverencia y las esperáis; / ¿Por qué no responder a ellas mediante actividades estacionales? / Dependéis de las cosas y las admiráis; / ¿Por qué no despegar vuestras propias capacidades para transformarlas? / Meditáis sobre lo que hace que la cosa sea la cosa; / ¿Por qué no ordenar las cosas de modo que no las desperdiciéis? / Buscáis en vano las causas de las cosas; / ¿Por qué no os apropiáis y gozáis lo que ellas producen? / Por tanto os digo, Descuidar al hombre y especular de la Naturaleza / Es entender mal los hechos del universo". Comentario de Needham: Hsün Tzu "infiere un grave golpe a la ciencia al subrayar con exceso y demasiado frecuentemente su contexto social" (p. 26). Indicar actitudes parecidas en otros tiempos y lugares, y especular acerca del posible mecanismo de génesis de las filosofías pragmatistas.

11.1.3. A menudo se ha recomendado el pragmatismo como antídoto a la especulación desbordada, suponiendo que la práctica es la contrastación de la verdad de las teorías. Por otro lado, los prácticos de la medicina, los gerentes de empresas, los políticos y otros hombres de la práctica están constantemente inventando hipótesis que no tienen tiempo—ni ganas a veces—de fundamentar o someter a contrastación. Aclarar esa paradoja. *Problema en lugar de ése*: Comentar el dicho paradójico atribuido al físico teórico L. Boltzmann: "Nada tan práctico como la teoría".

11.1.4. Analizar el dicho "El budín se prueba comiéndolo." ¿Vale para el conocimiento científico o sólo para las recetas de flanes? En general: ¿Qué es lo que *prueba* el éxito de una receta práctica? Tener en cuenta técnicas contemporáneas de mucho éxito, como el electrochoque para el tratamiento de la depresión, del que no se sabe por qué funciona. *Problema en lugar de ése*: Discutir la demostración por B. Russell de que la concepción pragmatista de la verdad sostenida por W. James acarrea un regreso infinito. Cf. *A History of Western Philosophy*, Nueva York, Simon and Schuster, 1945, cap. xxix.

11.1.5. Mostrar las características del "pensamiento aproximado", el que se concentra en torno a las variables principales y opera con meros órdenes de magnitud, como frecuentemente ocurre al formular modelos teóricos preliminares, igual en la ciencia pura que en la aplicada. Cf. P. E. Morse y G. E. Kimball, *Methods of Operation Research*, Nueva York, Technology Press of M. I. T. and Wiley; Londres, Chapman & Hall, 1951, p. 38. *Problema en lugar de ése*: Mencionar algunas leyes y teorías de la tecnología, y esbozar cómo se establecen.

11.1.6. Considerar la ingeniería social y del comportamiento como sociología y psicología aplicadas. Analizar el uso de esas disciplinas en la planificación y la reforma social. *Problema en lugar de ése*: Considerar la pedagogía como una rama de la ingeniería del comportamiento, y estudiar si las teorías de la educación se someten a contrastación, y cómo, en caso de respuesta afirmativa.

11.1.7. Analizar la relación entre la psiquiatría, como rama de la medicina, y la biología, la bioquímica y la psicología. Comentar la revolución que está teniendo lugar en la psiquiatría gracias a la investigación sobre psicofármacos. *Problema en lugar de ése*: Comparar algunas de las líneas de investigación sobre la fecundidad y la contracepción por lo que hace a la profundidad de los problemas que tratan y al cuerpo de biología que utilizan. Considerar especialmente el control de la ovulación y la inhibición de la producción de espermatozoos.

11.1.8. La agrimensura es una de las técnicas más antiguas y exactas. Examinar los medios (técnicas) y los fines (catastros) de la agrimensura y mostrar cuáles son sus bases teóricas. *Problema en lugar de ése*: Los criterios de neurosis corrientemente usados (por ejemplo, el de Willoughby) se basan en la experiencia del estudio de casos. No tienen fundamento teórico, ni tampoco parece que se hayan aplicado a individuos normales para averiguar si son relevantes las discrepancias respecto de la normalidad. No hay siquiera criterio independiente de normalidad, como haría falta para la mera formación de grupos de control. ¿Qué miden más propiamente esos criterios? ¿La gravedad de una condición neurótica o la gravedad del actual estado de la psiquiatría?

11.1.9. Llevar a cabo un estudio lógico y epistemológico de alguna de las disciplinas siguientes: investigación operativa, teoría de juegos, teoría de la información. Investigar también si están relacionadas con teorías sustantivas, y, si lo están, de qué modo.

11.1.10. Estudiar el proyecto de cosas nuevas, como las fibras sintéticas. ¿Consisten siempre esos proyectos en combinar objetos existentes (es decir, en combinar piezas de materiales conocidos) de un modo nuevo? ¿Es posible para la ciencia y la tecnología crear nuevas sustancias y, por tanto, producir nuevas leyes naturales? Cf. sec. 6.8., *Problema en lugar de ése*: Estudiar la posibilidad de que la concepción instrumentalista de la ciencia haya nacido de la confusión entre ciencia pura y ciencia aplicada.

11.2. LA REGLA TECNOLÓGICA

Igual que la ciencia pura dirige su atención a esquemas objetivos o leyes, la investigación orientada a la acción aspira a establecer normas estables del comportamiento humano con éxito: esas normas estables son reglas. El estudio de las reglas —las reglas fundamentadas de la ciencia aplicada— es, pues, central en la filosofía de la tecnología.

Una regla *prescribe* un curso de acción: indica cómo debe uno proceder para conseguir un objetivo predeterminado. Más explícitamente: una regla es una instrucción para realizar un número finito de actos en un orden dado y con un objetivo también dado. El esqueleto de una regla puede simbolizarse por una cadena de signos, como 1-2-3-...-*n*, en la cual cada número representa un acto correspondiente; el último acto, *n*, es lo único que separa del objetivo al operador que haya ejecutado todas las operaciones menos *n*. A diferencia de las fórmulas legaliformes, que dicen cuál es la forma de hechos posibles, las reglas son normas. Se supone que el campo de la ley es la realidad entera, incluyendo a los que hacen o producen reglas; el campo de la regla es sólo la humanidad; son los

hombres, y no las estrellas los que pueden obedecer a reglas y violarlas, inventarlas y perfeccionarlas. Los enunciados de leyes son descriptivos e interpretativos, mientras que las reglas son normativas. Consiguientemente, mientras que los enunciados legaliformes pueden ser más o menos verdaderos, las reglas sólo pueden ser más o menos efectivas.

Podemos distinguir los siguientes géneros de reglas: (i) *reglas de conducta* (reglas sociales, morales y legales); (ii) *reglas de trabajo precientífico* (recetas de las artes y oficios y de la producción); (iii) *reglas semióticas* (sintácticas y semánticas); (iv) *reglas de la ciencia y la tecnología*: reglas fundamentadas de la investigación y la acción. Las reglas de conducta hacen posible (y dura) la vida social. Las reglas del trabajo precientífico dominan la región de conocimiento práctico no sometida aún a control tecnológico. Las reglas de signos nos orientan en el uso de símbolos, prescriben el modo de producir, transformar e interpretar símbolos. Y las reglas de la ciencia y la tecnología son las normas que resumen las especiales técnicas de la investigación en la ciencia pura y la aplicada (por ejemplo, el muestreo al azar), y las especiales técnicas de la producción moderna progresada (por ejemplo, las técnicas de fusión por infrarrojo).

Muchas reglas de conducta, de trabajo y de signos son *convencionales*, en el sentido de que se adoptan sin razones especiales y de que pueden cambiarse por otras reglas con poco o ningún cambio concomitante en el resultado deseado. No son plenamente arbitrarias, pues su formación y adopción deben explicarse a base de leyes psicológicas y sociológicas, pero no son tampoco necesarias; las diferencias entre culturas son en gran parte diferencias entre sistemas de reglas de esa clase. No nos interesan esas reglas sin fundamento, o reglas convencionales, sino las fundamentales, esto es, las normas que satisfacen la siguiente *Definición*: Una regla es *fundada* si y sólo si se basa en un conjunto de fórmulas de leyes capaces de dar razón de su efectividad. La regla que manda quitarse el sombrero para saludar es infundada en el sentido de que no se basa en ninguna ley científica, sino que se ha adoptado convencionalmente. En cambio, la regla que prescribe engrasar periódicamente los automóviles se basa en la ley de que los lubricantes disminuyen el desgaste por fricción de las partes: ésta no es una convención ni una receta práctica como las de la cocina o la política; es una regla bien fundada. Más adelante dilucidaremos el concepto de fundamento de una regla en una ley.

Para decidir que una regla es efectiva es necesario, aunque no suficiente, mostrar que ha tenido éxito en un alto porcentaje de casos. Pero esos casos pueden ser meras coincidencias, como las que pueden haber consagrado los rituales mágicos que acompañaban las cacerías del hombre primitivo. Antes de adoptar una regla empíricamente efectiva tenemos que saber *por qué* es efectiva: debemos separarla o aislarla y conseguir una comprensión de un *modus operandi*. Esta exigencia de fundamentación señala el paso de las artes y oficios precientíficos a la tecnología contemporánea. Ahora bien: la única fundamentación válida de una regla es un sistema de fórmulas legaliformes, porque sólo éstas pueden dar razón correcta de los hechos, en este caso del hecho de que la regla dada funcione. Con esto no se quiere decir que la efectividad de una regla dependa de que esté fundada o no lo esté, sino sólo que, para poder *juzgar* si una regla tiene alguna posibilidad de ser efectiva y para *mejorar* y acaso *sustituir* la regla por otra más efectiva, tenemos que descubrir los enunciados legaliformes subyacentes, si los hay. Pero podemos incluso dar un paso más y afirmar que la aplicación de reglas o recetas ciegas nunca ha

sido rentable a largo plazo: la mejor línea de conducta consiste, primero, en intentar fundamentar nuestras reglas y, segundo, en intentar transformar algunas fórmulas legaliformes en reglas tecnológicas efectivas. El nacimiento y el desarrollo de la tecnología moderna son el resultado de esos dos movimientos

Pero es más fácil predicar la fundamentación de las reglas que decir exactamente en qué consisten esos fundamentos. Intentemos una excursión por ese territorio inexplorado, que es el núcleo de la filosofía de la tecnología. Como suele ocurrir al acercarse a un tema nuevo, será conveniente empezar por analizar un caso típico. Tomemos el enunciado de ley “El magnetismo desaparece por encima de la temperatura de Curie” (que para el hierro es de 770°C). Para fines de análisis será conveniente reformular nuestra ley como condicional explícito: “Si la temperatura de un cuerpo imantado rebasa su punto de Curie, entonces el cuerpo pierde su imantación”. (Esta formulación es, ciertamente, una simplificación extrema, como cualquiera otra traducción de una ley científica al lenguaje común: el punto de Curie no es la temperatura a la cual desaparece todo magnetismo, sino el punto de conversión del ferromagnetismo en paramagnetismo, o a la inversa. Pero esa precisión es irrelevante para la mayoría de los fines tecnológicos.) Nuestro enunciado nomológico suministra la base del enunciado nomopragmático “Si se calienta un cuerpo imantado por encima de su punto de Curie, entonces pierde su imantación”. (El predicado es, naturalmente, ‘se calienta’. Sobre el concepto de enunciado nomopragmático, cf. sec. 6.5.) Este enunciado nomopragmático es a su vez el fundamento de dos reglas diferentes, a saber, *R1*: “Para desimantar un cuerpo, caliéntesele por encima de su punto de Curie”, y *R2*: “Para evitar la desimantación de un cuerpo, no se le mantenga por encima de su punto de Curie”. Las dos reglas tienen el mismo fundamento, esto es, el mismo enunciado nomopragmático subyacente, el cual se apoya a su vez en un enunciado nomológico del que se supone que representa una estructura objetiva. Además, las dos reglas son equieicientes, aunque no en las mismas circunstancias (sino que al cambiarse los objetivos se cambian los medios). Hasta este punto la situación puede caracterizarse por medio de la relación de presuposición —|, dilucidada en la sec. 5.1:

Enunciado nomológico —|— *Enunciado nomopragmático* —| {Regla 1, Regla 2}

*Al nivel proposicional, la estructura del enunciado nomológico es la misma del enunciado nomopragmático, a saber, “ $A \rightarrow B$ ”. Una de las diferencias entre ambos se encuentra en la significación del símbolo antecedente ‘*A*’, que en el caso del enunciado nomológico se refiere a un hecho objetivo, mientras que en el caso de un enunciado nomopragmático se refiere a una operación humana. La Regla 1 puede simbolizarse escribiendo ‘*B per A*’, expresión que leeremos ‘*B* por medio de *A*’, o bien ‘Para obtener *B*, hacer *A*’ o ‘Para el fin *B*, usar los medios *A*’. La estructura de la Regla 2 es en cambio ‘ $\neg B \text{ per } \neg A$ ’, que puede leerse ‘Para evitar *B*, no hacer *A*’. El consecuente de la fórmula legaliforme “ $A \rightarrow B$ ” se ha convertido en el “antecedente” de la Regla *R1*, y el antecedente de aquella ley en el “consecuente” de esta regla. O, más bien, el antecedente lógico de la fórmula legaliforme y su negación son ahora los medios, mientras que el consecuente lógico y su negación son cada uno el fin de una regla. (Pero mientras que el antecedente de un enunciado legaliforme es suficiente para que ocurra el hecho al que se refiere el

consecuente, el “consecuente” de la regla puede ser sólo necesario para alcanzar el objetivo expresado por el “antecedente”). Resumiremos los anteriores resultados en las siguientes fórmulas expresadas en el metalenguaje y válidas para leyes y reglas elementales:

$$“A \rightarrow B” \text{ fund } (“B \text{ per } A” \text{ vel } “\neg B \text{ per } \neg A”) \quad [11.1]$$

$$“B \text{ per } A” \text{ aeq } “\neg B \text{ per } \neg A” \quad [11.2]$$

En esa fórmula ‘*fund*’ significa “fundamenta” o “es el fundamento de” ‘*vel*’ representa “o”, y ‘*aeq*’ significa “equieiciente”. Al igual que ‘*per*’ son conectivas de reglas.

Obsérvense las profundas diferencias entre fórmulas legaliformes nomológicas y reglas. En primer lugar, los funtores ‘*fund*’ y ‘*aeq*’ no tienen equivalentes sintácticos. En segundo lugar, “*B per A*” no tiene valor veritativo. En cambio, las reglas tienen *valores de efectividad*. Más exactamente, podemos decir que una regla de la forma “*B per A*” tiene por lo menos uno de tres valores de efectividad: puede ser efectiva (valor que simbolizaremos por la cifra ‘1’), inefectiva (‘0’) o indeterminada (símbolo: ‘?’). Esta diferencia se capta del mejor modo comparando la tabla veritativa de “ $A \rightarrow B$ ” con la tabla de eficiencia de la regla asociada “*B per A*”:

Tabla veritativa de la ley
“ $A \rightarrow B$ ”

<i>A</i>	<i>B</i>	$A \rightarrow B$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

Tabla de efectividad de la regla
“*B per A*”

<i>A</i>	<i>B</i>	“ <i>B per A</i> ”
1	1	1
1	0	0
0	1	?
0	0	?

Mientras que el condicional no es falso más que en el caso de que el antecedente sea verdadero y el consecuente falso, el único caso en que la regla es efectiva es aquel en el cual los medios *A* se aplican y se consigue el fin *B*. Podemos decidir que “*B per A*” es inefectiva sólo cuando los medios estipulados, *A*, se ponen en práctica y no se obtiene el resultado deseado *B*. Pero si no aplicamos los medios (casos de las dos últimas filas de valores de la tabla), no podemos decidir acerca de la regla, se obtenga o no se obtenga el fin: de hecho no aplicar los medios indicados por la regla es pura y simplemente no aplicar la regla. La lógica de las reglas es, pues, al menos de tres valores.

Hemos dicho antes que “*B per A*” y “ $\neg B \text{ per } \neg A$ ” son equieicientes, aunque no en las mismas circunstancias. Esto significa que en cualquier caso hay por lo menos una combinación de medios y fines que cae bajo la regla, aunque la combinación no es la misma en los dos casos. De hecho, las tablas de efectividad de las dos reglas son diferentes, como muestra la siguiente tabla, en la cual se exponen las cuatro combinaciones posibles de medios y fines:

A	$\neg A$	B	$\neg B$	$B \text{ per } A$	$\neg B \text{ per } \neg A$	$\neg B \text{ per } A$	$B \text{ per } \neg A$
1	0	1	0	1	?	0	?
1	0	0	1	0	?	1	?
0	1	1	0	?	0	?	1
0	1	0	1	?	1	?	0

Se obtiene fácilmente una generalización obvia de las tablas anteriores haciendo que A y B tomen cualquiera de los tres valores 1, 0 y ? Y se obtiene una generalización en otro sentido sustituyendo '1' por la frecuencia relativa f de éxitos, y '0' por su complemento $1 - f$.*

La relación entre una fórmula nomológica como " $A \rightarrow B$ " y las reglas " $B \text{ per } A$ " y " $\neg B \text{ per } \neg A$ " no es lógica, sino pragmática. Estipulamos la relación sentando la siguiente *Metarregla*: Si " $A \rightarrow B$ " es una fórmula nomológica, pruébese con las reglas " $B \text{ per } A$ " o " $\neg B \text{ per } \neg A$ ". Nuestra regla dice 'pruébese con', y no 'adóptense', y ello por dos razones. En primer lugar, toda fórmula nomológica es rectificable, y, por tanto, la regla correspondiente puede experimentar alteraciones. En segundo lugar, una fórmula legaliforme puede referirse a un modelo demasiado idealizado de sistema concreto, en cuyo caso la regla correspondiente será ineficiente o casi ineficiente. Tomemos otra vez la ley de la desmagnetización. Al formular los enunciados legaliformes correspondientes (el nomológico y el nomopragmático), presupusimos que sólo son relevantes dos variables, a saber, la imantación y la temperatura: pasamos por alto la presión y otras variables que pueden producir diferencias. Aún más: ni siquiera planteamos el problema tecnológico de la construcción de un horno eficiente, rápido y barato para calentar el material, y tal que su composición química no se altera por el contacto con el aire durante la operación. Ahora bien, la eliminación de algunos de esos "detalles" puede arruinar la eficiencia de la regla. Para tenerlos en cuenta necesitamos más enunciados legaliformes, incluso a veces teorías enteras o fragmentos de ellas. Pero hasta así puede resultar que, para ciertos fines, otro procedimiento basado en otras fórmulas de leyes (por ejemplo, la aplicación de un campo magnético decreciente alternativamente) sea más eficaz que el calentar. Inferimos de esto que la verdad de una fórmula legaliforme no garantiza la efectividad de las reglas basadas en ella. Por esta razón nuestra metarregla recomienda y no manda usar la regla " $B \text{ per } A$ " una vez establecida como fórmula legaliforme " $A \rightarrow B$ ".

*Si no podemos inferir la efectividad de una regla a partir de la verdad de la correspondiente fórmula legaliforme, ¿qué decir del procedimiento inverso? Éste está aún mucho menos garantizado. En realidad, puesto que la regla " $B \text{ per } A$ " es efectiva si y sólo si tanto A como B se dan, podemos satisfacer esta condición adoptando alternativamente infinitas hipótesis, como " $A \& B$ ", " $A \vee B$ ", " $A \rightarrow B$ ", " $B \rightarrow A$ ", " $(A \& B) \& C$ ", " $(A \& B) \vee C$ ", " $(A \vee B) \& C$ ", " $(A \vee B) \vee C$ ", etcétera, con ' C ' para designar una fórmula cualquiera. De todas esas infinitas hipótesis, sólo la tercera coincide con nuestro enunciado nomológico " $A \rightarrow B$ ". Dicho brevemente: dada una fórmula legaliforme nomológica, podemos *probar* con la regla correspondiente, como aconseja nuestra metarregla, pero dada una regla no podemos inferir *nada* acerca de la fórmula legaliforme subyacente. Todo lo que hace una regla con éxito –y ya es mucho– es apuntar las posibles *variables* relevantes y plantear el *problema* de descubrir la relación legal entre ellas.*

Lo dicho tiene unas consecuencias importantes para la metodología de las reglas y para las interrelaciones entre ciencia pura y ciencia aplicada. Como se ve, no hay ningún camino único que lleve de la práctica al conocimiento, del éxito a la verdad: el éxito no permite una inferencia que vaya de la regla a la ley, sino que plantea el problema de explicar la visible eficiencia de la regla. Dicho de otro modo: los caminos que van del éxito a la verdad son infinitos y, consiguientemente, inútiles o poco menos: no hay manojos de reglas efectivas que pueda sugerir una teoría. Por otro lado, los caminos que van de la verdad al éxito no son muchos, y pueden, por tanto, recorrerse. Ésta es una de las razones por las cuales el éxito práctico, sea de un tratamiento médico o de una medida gubernativa, no es un criterio de verdad para las hipótesis subyacentes. Y por esa misma razón la tecnología, a diferencia de las artes y los oficios precientíficos, no parte de reglas para terminar con teorías, sino al revés. En resolución: ésta es la causa de que la tecnología sea ciencia aplicada, mientras que la ciencia no es tecnología purificada.

Los científicos y los tecnólogos elaboran reglas sobre la base de teorías que contienen enunciados legaliformes y supuestos auxiliares, y los técnicos aplican esas reglas junto con otras sin fundamento (precientíficas). En cualquier caso hay hipótesis específicas que acompañan la aplicación de reglas, a saber, hipótesis que afirman que el caso considerado hace pertinente la regla porque tales o cuales variables —puestas en relación por la regla— se dan efectivamente en él. En la ciencia esas hipótesis son susceptibles de contrastación, y ello tanto en la investigación pura cuanto en la aplicada. Pero en la práctica de la tecnología puede no haber tiempo más que para contrastarlas por la simple aplicación de las reglas junto con esos manojos de hipótesis: lo cual es realmente una contrastación muy pobre, porque el resultado negativo de la misma podrá achacarse tanto a las hipótesis cuanto a la regla o a las inciertas condiciones de aplicación.

A la vista de esas profundas diferencias entre fórmulas nomológicas y reglas, resulta injustificable la persistente confusión de unas con otras y, lo que es peor, la caracterización de las leyes como recetas prácticas. La confusión, con todo, puede explicarse por dos motivos. En primer lugar, todo enunciado legaliforme puede convertirse en fundamento de una o más reglas; así, dada una ley " $L(x, y)$ ", que relacione las variables x e y , podemos prescribir: "Para medir o computar y a base de x , úsese ' $L(x, y)$ '". En segundo lugar, la mayoría de los filósofos no tienen presente enunciados nomológicos propiamente dichos cuando hablan de leyes, sino más bien generalizaciones empíricas, a base de las cuales formulan generalizaciones análogas de naturaleza pragmática, o sea, enunciados que contienen predicados pragmáticos: en resolución, parten de enunciados nomopragmáticos pertenecientes al conocimiento ordinario, y a partir de éstos hay efectivamente poca distancia que recorrer para llegar a reglas. Por paradójico que pueda parecer, el hecho es que un tratamiento adecuado de los aspectos pragmáticos del conocimiento exige un planteamiento filosófico no pragmatista.

Preguntémonos, por último, cuáles son las peculiaridades de la previsión tecnológica.

Problemas

11.2.1. Ilustrar los conceptos de regla de conducta, regla de trabajo, regla de signos y regla fundada.

11.2.2. Establecer un paralelismo entre una receta de cocina y una fórmula legaliforme. *Problema en lugar de ese*: Averiguar si las siguientes reglas son fundadas o no: (i) “Si no lo entiendes, oponte a ello”; (ii) “Para curar a los pacientes mentales, apaléese los”; (iii) “Para prevenir el crimen, castíguese severamente”.

11.2.3. Entre las reglas fundadas que se presentan en la ciencia pura y aplicada podemos distinguir *reglas de decisión* y *reglas de acción*, esto es, reglas que nos permiten hacer decisiones bien fundamentadas y reglas que nos orientan en la ejecución de esas decisiones. Ejemplificar y analizar esas dos clases de reglas.

11.2.4. Discutir si están justificados los siguientes usos del término ‘regla’: (i) La regla del paralelogramo de fuerzas en mecánica; (ii) la regla de la mano derecha y la regla de la mano izquierda en teoría electromagnética; (iii) la regla de la fase en termodinámica; (iv) la regla de cuantización en la teoría cuántica de Bohr y las reglas de conmutación y selección en la teoría cuántica moderna. *Problema en lugar de ese*: Discutir la tesis de que la forma tecnológica de enunciado legaliforme dice: “Es imposible construir x ”. Cf. K. R. Popper, *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge & Kegan Paul, 1960, p. 61.

11.2.5. Examinar la caracterización de las leyes de la naturaleza como recetas, instrucciones y reglas de comportamiento y procedimiento. Cf. (i) E. Mach, *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872, edición inglesa, Chicago, Open Court, 1911, p. 55: La ley galileana “ $s = gt^2/2$ ” es “la regla de derivación por medio de la cual hallamos, para un t dado, la s correspondiente, y esto sustituye la tabla [de valores empíricamente hallados] que acabamos de mencionar, y lo hace de un modo completo, conveniente y resumido. Ahora bien: esta regla de derivación, esta fórmula, esta ‘ley’, no tiene en absoluto más valor que el agregado de hechos individuales a los que sustituye. Su valor para nosotros consiste estrictamente en la conveniencia de su uso: tiene un valor económico”. (ii) M. Schlick, “Causality in Contemporary Physics”, 1931, *British Journal for the Philosophy of Science*, xii, 177 y 281, 1961 y 1962. (iii) H. Dingler, *Die Methode der Physik*, Munich, 1938.

11.2.6. ¿Carecen de fundamento las reglas establecidas arbitrariamente, esto es, por capricho? O sea, de la afirmación de que no están teóricamente justificadas, ¿se sigue que carezcan también de fundamento pragmático? ¿Y a qué tipo de lógica obedecen las reglas sin fundamento? *Problema en lugar de ese*: La efectividad de una regla puede medirse por su rendimiento. ¿Podría esa técnica de medición ahorrarnos el trabajo de explicar por qué funciona la regla en la medida en que lo haga?

11.2.7. ¿Es la fundamentación teórica de una regla condición necesaria, suficiente o ni necesaria ni suficiente para su adopción? *Problema en lugar de ese*: Una regla puede considerarse como una relación medios-fines según la cual los medios son en algún sentido necesarios para la consecución del fin. Discutir las siguientes formalizaciones de una regla (i) “ $F \rightarrow M$ ”; (ii) “ $F \rightarrow \Box M$ ”; ‘ F ’ significa fines, ‘ M ’ medios, y el cuadrado representa el operador modal “es necesario que”. Obsérvese que en ambos casos a] se tiene una proposición, y no una prescripción propiamente dicha, y b] el concepto de necesidad usado no es necesariamente físico o pragmático.

11.2.8. Los psicoanalistas suelen decir que su sofá es la piedra de toque de sus hipótesis, indicando así que la teoría psicoanalista tiene que ser verdadera si la terapéutica psicoanalista es eficaz (cosa que no es, dicho sea de paso). Examinar esa argumentación. *Problema en lugar de ese*: La apologetica religiosa y los políticos suponen que sus respectivas clientelas, actuales o históricas (argumento histórico), prueban la verdad de sus opiniones. ¿Es correcta esa pretensión?

11.2.9. Tanto la ciencia pura como la ciencia aplicada aplican y elaboran reglas ¿Cuál es la diferencia entre una regla científica de procedimiento (por ejemplo, una regla para teñir los tejidos orgánicos que hay que observar con el microscopio) y una regla tecnológica de procedimiento (por ejemplo, una regla para teñir tejidos industriales de tal o cual clase)? *Problema en lugar de éste*: Examinar la tesis de que la raíz de la diferencia ética entre la ciencia y la técnica es que una misma ley puede fundamentar dos reglas contrarias. Cf. M. Bunge, *Ethics*, pp. 258-263, Dordrecht, Reidel, 1989.

11.2.10. Considerar el principio “Toda regla tiene que ser fundamentada o rechazada en base al conocimiento científico.” ¿Es una generalización de nuestra experiencia sobre reglas, una esperanza infundada o una metarregla programática justificada por la historia? *Problema en lugar de éste*: Establecer una relación entre la lógica de las reglas y la lógica de tres valores. Observar que si se completa la tabla de eficiencia de “*B per A*”, atribuyendo a *A* y *B* valores intermedios, entonces esa tabla coincide plenamente con la tabla veritativa de la cuasi-implicación en la lógica de tres valores. Sobre esto último, cf., por ejemplo, H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, Berkeley y Los Ángeles, University of California Press, 1946, p. 151.

11.3. LA PREVISIÓN TECNOLÓGICA

Para la tecnología, el conocimiento es principalmente un medio que hay que aplicar para alcanzar ciertos fines prácticos. El objetivo de la tecnología es la acción con éxito, no el conocimiento puro, y, consiguientemente, toda la actitud del tecnólogo cuando aplica su conocimiento tecnológico es activa en el sentido de que, lejos de ser un mero espectador, aunque inquisitivo, o un diligente registrador, es un participante directo en los acontecimientos. Esta diferencia de actitud entre el tecnólogo en acción y el investigador —de especialidad pura o aplicada— introduce algunas diferencias también entre la previsión tecnológica y la predicción científica. (Sobre esta última, cf. cap. 10.)

En primer lugar, mientras que la predicción científica dice lo que ocurrirá o puede ocurrir si se cumplen determinadas circunstancias, la previsión tecnológica sugiere cómo influir en las circunstancias para poder producir ciertos hechos, o evitarlos, cuando una u otra cosa no ocurrirían por sí mismas normalmente: una cosa es prever la órbita de un cometa y otra completamente distinta planear y prever la trayectoria de un satélite artificial. Esto último presupone una elección entre objetivos posibles, y una tal elección presupone a su vez cierta previsión de las posibilidades y su estimación a la luz de un conjunto de desiderata. De hecho, el tecnólogo hará su previsión a base de sus estimaciones (o las de quien le paga) acerca de cómo *debería* ser el futuro si se trata de satisfacer ciertos desiderata: a diferencia del científico puro, el tecnólogo está escasamente interesado por lo que ha de suceder; y lo que para el científico no es más que el estado final de un proceso se convierte para el tecnólogo en un objetivo estimable (o desestimable) que hay que conseguir (o evitar). Una predicción científica típica tiene la forma “Si *x* ocurre en el momento *t*, entonces ocurrirá *y* en el momento *t'* con la probabilidad *p*”. En cambio, una previsión tecnológica típica es de la forma: “Si hay que conseguir *y* en el momento *t'* con probabilidad *p*, entonces hay que hacer *x* en el momento *t*”. Dado el objetivo, el tecnólogo indica los medios adecuados, y su previsión establece una relación medios-fin, no una

relación entre un estado inicial y un estado final. Además, esos medios se realizan mediante un determinado conjunto de acciones entre las cuales se cuentan los actos del tecnólogo mismo. Esto nos lleva a una segunda peculiaridad de la previsión tecnológica: mientras que el éxito del científico depende de su capacidad de separar su objeto de sí mismo (especialmente cuando su objeto resulta ser un sujeto psicológico) —o sea, de su capacidad de distanciamiento—, la habilidad profesional del tecnólogo consiste en colocarse él mismo dentro del sistema en cuestión, en cabeza del mismo (fig. 11.3).

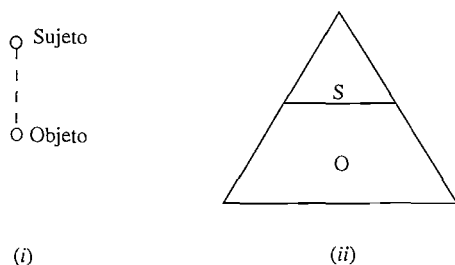


FIGURA 11.3. (i) Objetividad, clave de la verdad científica. (ii) Parcialidad, clave del control tecnológico.

Esto no le acarrea *subjetividad*, porque en sustancia el tecnólogo se basa en conocimiento objetivo suministrado por la ciencia; pero sí que acarrea parcialidad, un *parti pris* que no conoce el investigador puro. El ingeniero es parte de un complejo hombre-máquina; el psicólogo industrial es parte de una organización, y ambos están obligados a arbitrar y mejorar los medios óptimos para la consecución de desiderata que, por lo general, no eligen ellos mismos: ellos elaboran decisiones, pero no la política o conducta a seguir.

La previsión de un hecho o proceso situado fuera de nuestro control no cambiará el hecho o proceso mismo. Así, por ejemplo, por muy precisamente que prediga un astrónomo el choque de dos astros, este acontecimiento se producirá según su propio curso. Pero si un geólogo aplicado consigue prever un deslizamiento de tierras, podrán evitarse algunas de sus consecuencias. Aún más: proyectando y supervisando las adecuadas obras de defensa, el ingeniero puede hasta evitar el deslizamiento de tierras, es decir, puede trazar la secuencia de acciones capaz de refutar la previsión inicial. Análogamente, un complejo industrial puede pronosticar las ventas del futuro próximo en base a la suposición (un tanto frágil) de que continuará durante ese lapso de tiempo un determinado estado de la economía, por ejemplo una situación de prosperidad. Pero si una recesión falsa ese supuesto y la empresa había acumulado grandes *stocks* de los que tiene que desprenderse, entonces la dirección, en vez de hacer nuevas previsiones de venta (como seguramente hará el científico puro en su campo en situación análoga), intentará *forzar* la realización de las anteriores previsiones aumentando la publicidad, bajando los precios de venta, etcétera. Como en el caso de los procesos vitales, se probará sucesiva o simultáneamente con toda una serie de medios diversos para alcanzar un objetivo fijado. Y para ello habrá probablemente que sacrificar numerosas hipótesis iniciales: en el caso del deslizamiento de tierras, la hipótesis de que no habría fuerzas externas que se opusieran al proceso; en el caso de las ventas, la hipótesis de que persistiría la prosperidad. Consiguientemente, el que la previsión inicial sea *falsada por la fuerza* (como en el caso del deslizamiento de

“predictor”—un hombre racional, un equipo de tecnólogos o un autómatas suficientemente complicado— puede comportarse de un modo completamente distinto. Alimentado con información relevante, I_t , en el momento t , puede elaborarla con la ayuda del conocimiento (o de las instrucciones) de que dispone, y acaso formular una predicción, P_t , en un momento posterior, t' . Esta predicción puede introducirse de nuevo en el sistema y compararse con el fin preestablecido, F , que controla todo el proceso (sin causarlo ni suministrarle energía). Si los dos datos son suficientemente parecidos, el sistema toma una decisión que puede llevarle a obrar para beneficiarse del curso de los acontecimientos. En cambio, si la predicción difiere considerablemente del fin, la diferencia desencadenará de nuevo el mecanismo teórico, que elaborará una nueva estrategia: en el momento t'' se formulará tal vez una nueva predicción $P_{t''}$, una previsión con una referencia a la participación del sistema mismo en los acontecimientos. La nueva predicción vuelve a alimentar el sistema y si sigue siendo muy diferente del objetivo o fin, se desencadenará un nuevo ciclo de corrección, y así hasta que la diferencia entre la predicción y el objetivo o fin se haga despreciable, momento en el cual el mecanismo predictivo del sistema se detendrá. A partir de ese momento, el sistema recogerá más información sobre la situación presente y obrará conforme a la estrategia que ha elaborado. Esa estrategia puede haber requerido no sólo nueva información sobre el mundo externo (incluyendo en ella las actitudes y las capacidades de los individuos afectados o relevantes), sino también nuevas hipótesis o hasta teorías que no estaban presentes en las instrucciones inicialmente recibidas por el predictor. Si éste no registra ese conocimiento adicional, o si no lo obtiene y utiliza, sus acciones serán probablemente ineficaces. Moraleja: cuantos más cerebros, mejor.

Ese proceso autocorrector, basado en la realimentación del predictor por las predicciones, no tiene por qué tener lugar siempre al nivel conceptual. Pueden construirse autómatas, máquinas que imiten (con procesos puramente físicos) algunos rasgos de ese comportamiento. Pero esa imitación no podrá ser sino parcial. De hecho, aunque pueden *almacenar* teorías, y con ellas instrucciones claras para usarlas, las máquinas automáticas carecen de dos capacidades: (i) no tienen *juicio*, “olfato”, para aplicarlas, es decir, para elegir la teoría más prometedora, o para hacer otras hipótesis simplificadoras más, y (ii) no pueden *inventar* nuevas teorías para hacer frente a situaciones nuevas, no predichas por el constructor del autómatas y para las cuales sean irrelevantes las teorías almacenadas en la máquina. Y los autómatas no pueden inventar teorías porque no existen técnicas para la construcción de teorías a partir de datos y en un vacío psicológico y cultural, ya por el hecho de que ningún conjunto de datos puede plantear por sí mismo los problemas que se supone resuelve una teoría. Y si no existe ningún algoritmo para la construcción de teorías, tampoco puede alimentarse la calculadora con ningún conjunto de instrucciones para la elaboración de teorías. (Además, el *output* de una calculadora es un mensaje cifrado, como, por ejemplo, una tira de papel perforada.)

Para conseguir un conjunto de ideas hay que empezar por descifrar ese mensaje y “leerlo” o interpretarlo. Y aunque el descifrado puede hacerse automáticamente por la calculadora misma, la interpretación requiere un cerebro bien entrenado y empapado de conocimiento relevante. Supongamos que una calculadora inventara una nueva teoría. ¿Cómo podemos saber que ha ocurrido eso? Por tratarse de una nueva teoría, usará conceptos nuevos, algunos de ellos primitivos o no-definidos; esos conceptos nuevos esta-

rán designados por nuevos símbolos o nuevas combinaciones de símbolos viejos, y, en cualquier caso, se carecerá de hilos conductores para su descifrado: si existieran tales guías para descifrarlos, entonces es que la teoría no sería genuinamente nueva. Pero si no hay descifrado no puede haber interpretación: el mensaje es ininteligible, o sea, no es ningún mensaje, y podemos perfectamente suponer que la máquina se ha estropeado o ha fallado.

La anterior exposición de la previsión tecnológica se basa en el supuesto de que esa previsión descansa en alguna teoría, o más bien en algunas teorías, sustantivas u operativas. Este supuesto puede parecer injustificado a quienes saben que las previsiones formuladas por técnicos de la medicina, las finanzas o la política tienen frecuentemente éxito pese a no suponer mucha teoría. Eso es verdad: la mayoría de las veces los *pronósticos de los especialistas* se basan en generalizaciones inductivas (empíricas) de la forma “*A y B ocurren conjuntamente con la frecuencia observada f* ”, o incluso meramente “*A y B ocurren conjuntamente en la mayoría de los casos*”, o “*Generalmente, cuando se da A se da B*”. La observación de que un individuo dado, por ejemplo, un sujeto humano o una concreta situación económica, tiene la propiedad *A* se usa entonces para pronosticar que tiene o tendrá la propiedad *B*. En la vida ordinaria no pasamos de pronósticos de esa naturaleza, y lo mismo puede decirse de la mayoría de los pronósticos hechos por especialistas técnicos. A veces esos pronósticos hechos con la ayuda del conocimiento ordinario, o de conocimiento especializado, pero no científico, tienen más éxito que los hechos con teorías que cumplen todos los requisitos, pero son falsos o groseramente aproximados; en muchos campos, sin embargo, la frecuencia de aciertos no supera la obtenida lanzando una moneda. Lo importante, empero, es que la previsión del especialista técnico que no usa *teoría científica* no es una actividad científica, y ello ya en razón de la definición de “predicción científica” (sec. 10.1).

Pero sería un error pensar que los técnicos no hacen uso de conocimiento especializado cuando no utilizan teorías científicas: siempre juzgan sobre la base de algún conocimiento especial. Sólo que el conocimiento del técnico no es siempre explícito y articulado, razón por la cual no es tampoco fácilmente controlable: es un conocimiento que no aprende ágilmente de los fracasos y que resulta difícil de contrastar. Para el progreso de la ciencia, el fallo de una predicción científica es con mucho preferible al éxito de un pronóstico de técnico porque el fracaso científico puede realimentar la teoría causante de él y darnos así una posibilidad de mejorarla, mientras que en el caso del conocimiento del técnico especialista no hay teoría en la cual reintroducir nada. Sólo a propósito de fines prácticos inmediatos son los pronósticos del técnico, basados en generalizaciones superficiales, pero bien confirmadas, preferibles a las arriesgadas predicciones científicas.

Otra diferencia entre el pronóstico del técnico y la previsión tecnológica propiamente dicha puede parecer la siguiente: el primero se basa más intensamente que la predicción científica en la *intuición*. Pero la diferencia es más de grado que de clase. El diagnóstico y la previsión, igual en la ciencia pura que en la aplicada o en las artes y oficios, suponen intuiciones de varias clases: la rápida identificación de una cosa, acontecimiento o signo; la captación clara, aunque no necesariamente profunda, de la significación y/o de las relaciones recíprocas de un conjunto de signos (texto, tabla, diagrama, etc.); la capacidad de interpretar símbolos; la de formar modelos espaciales; la habilidad en la captación de analogías; la imaginación creadora; la inferencia catalítica, esto es, el paso rápido de al-

gunas premisas a otras fórmulas saltándose pasos intermedios; la capacidad de síntesis, o visión sintética; el sentido común (lo que quiere decir, control de la arbitrariedad) y juicio sano. Esas capacidades se combinan con el conocimiento especializado, científico o no, y se refuerzan con la práctica. Sin todo eso no se podrían inventar ni aplicar teorías, pero, desde luego, ello no quiere decir que tales capacidades sean potencias superracionales. La intuición es valiosa mientras va controlada por la razón y el experimento: sólo hay que temer la sustitución de la teoría o el experimento por la intuición.

Un peligro relacionado con ése se presenta con los *instrumentos pseudocientíficos de proyección*, tan corrientes en la psicología y la sociología aplicadas. Se han elaborado unas cuantas técnicas para prever el rendimiento de personal, de estudiantes y hasta de los psicólogos mismos. Algunos tests de ese tipo, los objetivos, son algo de fiar, por ejemplo, los de inteligencia y habilidad. Pero la mayoría, particularmente los tests subjetivos (la “estimación global” de la personalidad mediante entrevistas, el test de apercepción temática, el test de Rorschach, etc.) son en el mejor de los casos ineficientes y en el peor de los casos confusionarios. Cada vez que se han sometido a contrastación sus resultados entendidos como predicciones—esto es, cada vez que su resultados se han comparado con el efectivo rendimiento de los sujetos—, aquellos tests han fallado. El fallo de la mayoría de los tests psicológicos, y especialmente de los subjetivos, no es un fallo de la idea misma del test psicológico: la causa de esos fracasos es la ausencia total o la falsedad de las teorías psicológicas subyacentes. Someter a test las capacidades humanas sin establecer antes *leyes* que correlacionen índices objetivos de capacidades o de rasgos personales es tan insensato como el pedir a un primitivo que practique un test de rendimiento sobre aviones. Mientras no se tengan firmes fundamentos teóricos del test psicológico, su utilización como instrumento de predicción es tan mala como la de la contemplación de la bola de cristal o la decisión por lanzamiento de una moneda a cara o cruz: son prácticamente ineficientes y, aunque tuvieran éxito, no contribuirían al desarrollo de la teoría psicológica. El limitado éxito de los tests psicológicos ha llevado a muchos a desesperar respecto de la posibilidad de hallar un planteamiento científico del estudio del comportamiento humano; pero lo que en realidad hay que inferir es que el intento de conseguir dicho planteamiento no se ha producido sino cuando ya habían invadido el mercado bastantes supuestos tests. Lo malo de la mayor parte de la psicología “aplicada” (educativa, industrial, etc.) es que *no* consiste en una aplicación de la psicología científica. Y la conclusión es que las necesidades prácticas—como las de selección y entrenamiento del personal—no deben imponer la construcción de precipitadas “tecnologías” sin ciencia subyacente.

La previsión tecnológica debiera ser *máximamente confiable*. Esta condición excluye de la práctica tecnológica—pero no de la investigación tecnológica—las teorías insuficientemente contrastadas. Dicho de otro modo: la tecnología tendrá que preferir en última instancia una vieja teoría que haya prestado distinguidos servicios en un dominio limitado y con una imprecisión conocida a una nueva y audaz teoría que prometa previsiones antes inauditas, pero que probablemente es más compleja y, en parte por eso, menos contrastada. Sería irresponsable el comportamiento de un técnico que aplicara en la práctica una nueva idea sin haberla sometido a contrastación en circunstancias controladas. La práctica, incluida la tecnología, tiene que ser más conservadora que la ciencia. Consi-

guientemente, los efectos de una íntima asociación de la investigación pura con la aplicación y de esta última con la producción no son siempre ni totalmente beneficiosos: es verdad que la tecnología desafía y estimula a la ciencia con nuevos problemas y le suministra nuevos instrumentos para la consecución y la elaboración de datos; pero no lo es menos que la tecnología, por su misma insistencia en la seguridad, la normalización o estandarización (rutinización) y la rapidez —a costa de la profundidad, el alcance, la precisión y la asertabilidad— puede retrasar el progreso de la ciencia.

Es claro que la fiabilidad o seguridad, desideratum de la previsión tecnológica, no resulta siempre conseguible. He aquí fuentes frecuentes de incertidumbre: (i) falta de teoría adecuada y/o de información adecuada, y (ii) “ruido” o variación casual de factores no controlados. Esas deficiencias son las que más agudamente se sienten en el caso de la tecnología, a causa de la complejidad del sistema que maneja y del imperfecto control de sus variables (control que no puede conseguirse más que en las condiciones artificiales ofrecidas por un laboratorio o por unas pocas industrias de alta precisión). Un tercer factor de incertidumbre en materia de previsión tecnológica es que a menudo ésta consiste en una proyección desde un modelo a un sistema real muy alejado del modelo: puede llamarse a esto *extrapolación cualitativa*, para distinguirla de la extrapolación cuantitativa que se refiere a uno y el mismo sistema. Ejemplos: el ingeniero puede construir un modelo a escala reducida de un dique y estudiar así su comportamiento antes de la construcción del modelo a gran escala; el ingeniero aeronáutico puede construir un avión a escala reducida y probarlo en el túnel de viento; y el farmacólogo y el médico investigador pueden tomar cerdos o monos —mejor cerdos— como modelos materiales del hombre.

También en la ciencia pura se hacen tales modelos materiales y las correspondientes extrapolaciones: el biólogo experimentará *in vitro* con cultivos antes de hacerlo *in vivo*, y el psicólogo estudiará cómo el aislamiento afecta el comportamiento de los monos, como guía para su estudio del comportamiento humano. Pero la *finalidad* del uso de esos modelos materiales es del todo diferente: el científico desea descubrir y contrastar generalizaciones que puedan extrapolarse al sistema que en última instancia le interesa, mientras que el tecnólogo usa modelos materiales para contrastar sus reglas y planos en cuanto a efectividad de un modo fácil y barato: si el modelo material se comporta como estaba previsto puede intentarse pasar ya al sistema que interesa (dique, avión, paciente). Al dar ese paso pueden producirse hechos imprevistos, porque en el sistema real aparecerán algunas variables nuevas, desconocidas en su mayor parte, y porque el control de cada variable es ya poco menos que imposible. La diferencia entre el rendimiento efectivo y el previsto llevará, naturalmente, a alteraciones de los planos originales y probablemente también de las reglas, de tal modo que puedan hacerse nuevas previsiones con menor error. El proceso se autocorriga, pero no está nunca a prueba de cualquier error. Por tanto, el filósofo de la tecnología, igual que el de la ciencia pura, debe confiar en la posibilidad del progreso y, a la vez, estar seguro de la inevitabilidad del error.

Con esto termina nuestra explicación de la aplicación de las ideas científicas. Pasemos ahora a los problemas de su contrastación.

Problemas

11.3.1. Proponer ejemplos de previsiones de técnicos y de predicción tecnológica propiamente dicha. *Problema en lugar de ése*: J. S. Huxley y P. Deane, en *The Future of the Colonies*, Londres, Pilot Press, 1944, anticiparon cierto número de rasgos de las nuevas naciones asiáticas y africanas. ¿Fue una profecía, un pronóstico, una predicción científica o una previsión tecnológica?

11.3.2. Los costes de producción de nuevo equipo suelen subestimarse según un factor que va de 2 a 20. ¿Por qué? Cf. C. Hitch, "Uncertainties in Operations Research", *Operations Research*, 8, 437, 1960.

11.3.3. ¿Cómo se estima la viabilidad de una nueva cosa o un nuevo procedimiento? En particular, ¿cómo se estiman los dispositivos tecnológicos de alto nivel (por ejemplo, el control de la energía termonuclear)?

11.3.4 Sobre la base de experimentos de laboratorio y de campo, los radiobiólogos han hecho las siguientes previsiones referentes a los daños producidos por las radiaciones emitidas en las explosiones nucleares. (i) "Si el nivel de radiación rebasa los 5 roentgen, mata todos los árboles". (ii) "Si el nivel de radiación rebasa los 500 roentgen, mata a todos los hombres". (iii) "Si el nivel de radiación rebasa esas cifras y llega hasta los 50 000 roentgen, se salvan la mayoría de las bacterias y algunos insectos y muere todo lo demás". Hacer las previsiones correspondientes sobre los posibles efectos de una guerra nuclear. *Problema en lugar de ése*: De los dos comportamientos siguientes, ¿cuál es más adecuado para permitir prever y acaso dominar hechos hoy impredecibles, como los terremotos y el cáncer? Seguir recolectando datos sobre ellos o intentar teorías sobre sus mecanismos.

11.3.5. Estudiar el papel de la previsión en las tácticas y la estrategia de un partido político que se proponga conseguir el poder en un plazo determinado. *Problema en lugar de ése*: Estudiar un problema de previsión tecnológica tratado en las revistas *Operations Research*, *Management Science* o *Technology in Society*.

11.3.6. Hacer un detallado estudio del proceso que lleva del laboratorio de investigación química a la planta piloto y luego a la planta industrial. En particular, estudiar las fuentes de incertidumbre de la previsión hecha, con base en los resultados de laboratorio, sobre los rendimientos de la planta piloto y, con base en éstos, sobre los de la planta industrial. *Problema en lugar de ése*: La previsión tecnológica se hace con la ayuda de teorías. ¿Qué pasa con la previsión del éxito de la previsión tecnológica?

11.3.7. Los psicoanalistas sostienen que no necesitan realizar experimentos de laboratorio ni obtener o elaborar estadísticas porque la teoría psicoanalítica —o lo que se considera tal— ha quedado suficientemente probada en los sofás de los consultorios. En cambio, las estadísticas y los experimentos con grupos de control han establecido que la terapéutica psicoanalítica es en el mejor de los casos inocua. Analizar la situación. Sugerencia: no pierda el tiempo buscando estadísticas en la literatura psicoanalítica, porque no las encontrará. *Problema en lugar de ése*: La obra de I. Pavlov sobre los reflejos condicionados y la teoría del aprendizaje de C. L. Hull, relacionada con aquélla, se han convertido en la base de una nueva psicoterapia basada en la hipótesis central de que los síntomas neuróticos son respuestas condicionadas y mal adaptadas; por tanto, la curación de la neurosis consistiría en desaprender esos hábitos indeseables. Cf. J. Wolpe, *Behavior Therapy Techniques*, Oxford, Pergamon, 1966. Comparar esta situación de una ciencia aplicada con la de una psiquiatría sin teoría científica subyacente o basada en una doctrina pseudocientífica.

11.3.8. Algunas técnicas proyectivas como el test de Rorschach se presentan con la pretensión de que son capaces de predecir comportamiento abierto mediante el descubrimiento de rasgos ocultos de la personalidad, sobre la base de la conjetura "El comportamiento está dinámicamente motivado" (suponiendo que tenga algún sentido la expresión 'motivación dinámica'). En el mejor

de los casos. la correlación entre las necesidades y el comportamiento abierto, obtenida con la ayuda de técnicas proyectivas, es de 0,4. Estudiar esta situación y, en particular, averiguar si el fracaso de las técnicas proyectivas se debe (i) a la falsedad de la hipótesis subyacente (la cual es demasiado programática y, a la vez, demasiado vaga), o (ii) a la falta de una teoría en la que se inserten las hipótesis. Para una estimación de las técnicas de proyección puede verse el trabajo de K. B. Little, "Problems in the Validation of Projective Techniques", *Journal of Projective Techniques*, 23, 287, 1959. Hojéense los *Psychological Abstracts* en busca de trabajos más recientes. *Problema en lugar de ése*: Discutir el problema ético suscitado por el uso de procedimientos infundados (como las técnicas proyectivas) para la captación de rasgos de la personalidad y la previsión de comportamiento, y examinar las implicaciones éticas de la tecnología en general.

11.3.9. Estudiar la previsión de inventos tecnológicos concretos, como la practican habitualmente los individuos que formulan las decisiones en los institutos de investigación aplicada. En particular, examinar la frase 'La línea de investigación propuesta es científicamente [o técnicamente] posible'. ¿Es esa frase refutable?

11.3.10. Estudiar el problema de las previsiones autosatisfactorias y autodestructoras. lo que los economistas llaman el efecto Morgenstern y Popper el efecto Edipo. Cf. R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, 2da. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, pp. 128ss., y cap. xi. y R. C. Buck, "Reflexive Predictions", *Philosophy of Science*, 30, 359, 1963. *Problema en lugar de ése*: ¿Podríamos predecir la autosatisfacción (o la autodestrucción) de una previsión? La predicción de un resultado que lleva a la refutación forzosa de una previsión, ¿es contradictoria con la previsión misma? Si lo es, ¿importa? ¿Y sería posible llevar a cabo tales predicciones con la ayuda de leyes (por el momento desconocidas) de la psicología social?

BIBLIOGRAFÍA

- Ackoff, R. L., *Scientific Method: Optimizing Applied Research Decisions*, Nueva York y Londres, John Wiley & Sons, 1962.
- Agassi, J., *Technology: Philosophical and Social Aspects*, Dordrecht, Reidel, 1985.
- Barbour, I. G., *Technology, Environment and Human Values*, Nueva York, Praeger, 1980.
- Boirel, T., *Science et technique*, Neuchâtel, Ed. du Griffon, 1955.
- Brown, G. S., "New Horizon in Engineering Education", *Daedalus*, 92, 341, 1962.
- Bunge, M., "Tecnología, ciencia y filosofía", *Anales de la Universidad de Chile*, cxxi, núm. 126, 64, 1963.
- , "Philosophical inputs and outputs of technology", en G. Bugliarello y D. B. Donner (eds.), *The History and Philosophy of Technology*, Urbana, Ill., University of Illinois Press, 1979.
- , *Philosophy of Science and Technology*, parte II, cap. 5, Dordrecht, Reidel, 1985.
- Child, A., *Making and Knowing in Hobbes, Vico and Dewey*, Los Ángeles, University of California Press, 1953.
- Churchman, C. W., R. L. Ackoff y E. L. Arnoff, *Introduction to Operations Research*, Nueva York y Londres, John Wiley, 1957.
- Kotarbinsky, T., *Praxiology. An Introduction to the Science of Efficient Action*, Oxford, Pergamon, 1965.
- Le Chatelier, H., *De la méthode dans les sciences expérimentales*, París, Dunod, 1936, caps. 10-13.
- Mitcham, C., *Thinking through Technology*, Chicago, University of Chicago Press, 1994.

- y R. Mackey (eds.), *Philosophy and Technology*, Riverside, N. J. The Free Press, 1972.
- Morse, P. M., y G. E. Kimball, *Methods of Operations Research*, Nueva York, Technology Press of the M. I. T. and John Wiley & Sons; Londres, Chapman & Hall, 1951.
- Petroski, H., *To Engineer is Human*, Nueva York, St. Martin's Press, 1985, *Philosophy and technology*, anuario, 1983.
- Quintanilla, M. A., *Tecnología: Un enfoque filosófico*, Madrid, Fundesco, 1989.
- Rapp, F., *Analytical Philosophy of Technology*, Dordrecht-Boston, 1981.
- (ed.), *Contributions to a Philosophy of Technology*, Dordrecht, Reidel, 1974.
- Rescher, N. (ed.), *The Logis of Action and Preference*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 1968.
- Simon, H. A., *The New Science of Management Decision*, Nueva York, Harper & Row, 1960.
- Suppes, P., "The Philosophical Relevance of Decision Theory", *Journal of Philosophy*, LVIII, *Technology and Culture*, II, núm. 4, 1961, número dedicado a Ciencia e Ingeniería.
- Susskind, C., *Understanding Technology*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1973.

PARTE IV

LA CONTRASTACIÓN DE LAS IDEAS CIENTÍFICAS: DE LA OBSERVACIÓN A LA INFERENCIA

Hasta el momento nos hemos ocupado de las ideas científicas y sus aplicaciones. A partir de aquí vamos a estudiar cómo esas ideas se adecuan a los hechos. Como esa concordancia se averigua —o, por mejor decir, se estima— a través de la experiencia, estudiaremos los procedimientos empíricos por los cuales se somete a prueba las ideas referentes a hechos: esos procedimientos son la observación, la medición y el experimento. De este modo cerraremos el círculo que arranca de los hechos, los cuales plantean preguntas que llevan a ideas que requieren a su vez contrastaciones empíricas, contrastaciones por los hechos.

Las operaciones empíricas se practican en la ciencia con finalidades cognoscitivas o con finalidades prácticas. Operaciones empíricas de orientación cognoscitiva son las realizadas para averiguar datos, producir conjeturas o contrastar éstas. Operaciones empíricas de orientación práctica son las que apuntan a contrastar reglas de procedimiento o concretos sistemas también procesuales (materiales, instrumentos, personas, organizaciones). Cuando nos preguntamos ‘¿Cuál es la longitud de c ?’ reaccionamos estableciendo una medición apta para obtener el dato deseado. Si nuestra pregunta es ‘¿Qué sucedería si ocurriera p ?’ podemos hacer una observación o un experimento que contenga la producción de p y nos dé un resultado expresado por una proposición, q , y de este modo habremos producido la hipótesis “Si p , entonces q ”. (En particular, q puede ser incluso: “No sucede nada”.) Y si nos preguntamos “¿Es verdadera p , y en qué medida?”, puede ser que tengamos que establecer toda una serie de operaciones empíricas planeadas para obtener una respuesta determinada, con lo que habremos contrastado la hipótesis p . Todas esas son operaciones empíricas de orientación cognoscitiva. Si, en cambio, nos preguntamos por la eficiencia de una regla como “ q per p ”, o acerca de la fiabilidad o la robustez de un instrumento, o por la resistencia o la imaginación de una persona, entonces podrá decirse que nuestras operaciones tienen una finalidad práctica. En resumen, pues, tenemos las siguientes clases de operaciones empíricas:

<i>Operaciones empíricas</i>	<i>De orientación cognoscitiva</i> (Incrementadoras del conocimiento)	1. Recolección de datos 2. Producción de hipótesis 3. Contrastación de hipótesis
	<i>De orientación práctica</i> (Incrementadoras del poder eficaz)	4. Contrastación de reglas 5. Contrastación de sistemas

A continuación se insistirá sobre todo en los procedimientos empíricos de orientación cognoscitiva, o sea, en las observaciones, mediciones y los experimentos que tienden a recoger información, sugerir ideas y contrastar éstas.

Ahora bien: los resultados de las operaciones empíricas que tienden a incrementar nuestro conocimiento son insignificantes por sí mismos: tienen que interpretarse y estimarse, o sea, hay que “obtener” de ellos alguna “conclusión”. Dicho de otro modo: para que esos resultados empíricos sean relevantes para las ideas científicas hay que realizar ciertas inferencias. Por esa razón la presente y última parte de este libro se termina con un capítulo dedicado al paso del dato a la conclusión hipotética y viceversa.

12. OBSERVACIÓN

La observación es el procedimiento empírico básico. Tanto la medición cuanto el experimento suponen observación, mientras que ésta se realiza sin precisión cuantitativa (o sea, sin medición) y sin cambiar deliberadamente los valores de ciertas variables (o sea, sin experimentación). El objeto de la observación es, naturalmente, un hecho actual; el producto de un acto de observación es un dato, o sea, una proposición singular o existencial que exprese algunos rasgos del resultado de la acción de observar. Se ofrece, pues, un orden natural para nuestro estudio: el orden hecho-observación-dato. Nuestra discusión se terminará con un examen de la función de la observación en la ciencia.

12.1. HECHO

La ciencia factual se dedica por definición a averiguar y entender hechos. Pero ¿qué es un hecho? O, mejor formulado, ¿qué significa la palabra ‘hecho’? Adoptaremos la convención lingüística que consiste en llamar *hecho* a cualquier cosa que sea, o de que se trate, como, por ejemplo, todo aquello de lo que se sepa o se suponga —con algún fundamento— que pertenece a la realidad. De acuerdo con ese criterio son hechos, por ejemplo, este libro y el acto de leerlo; en cambio no son hechos las ideas consideradas en sí mismas, esto es, independientemente de quienes las piensan.

Solemos distinguir entre los hechos las siguientes clases: estado, acaecimiento o acontecimiento, proceso, fenómeno y sistema. El *estado* en que está una cosa en un instante dado es la lista de sus propiedades en ese instante. Un *acaecimiento*, suceso, acontecimiento, etc., es un cambio de estado de una cosa, y que, por alguna razón se considera en algún respecto como una unidad; además cubre un lapso breve. (Un acaecimiento puntual, sin extensión en el espacio-tiempo, es una construcción teórica sin contrapartida real.) Son ejemplos de acaecimientos un relámpago de luz y la ocurrencia —“relampagueo”— de una idea. Desde un punto de vista epistemológico los acaecimientos pueden considerarse como los elementos a base de los cuales damos razón de procesos, o como los complejos que podemos analizar como confluencias de procesos. En la ciencia los acaecimientos desempeñan dos papeles: tomados como unidades en un nivel superior, se convierten en los objetos del análisis propio de un nivel inferior o más profundo.

*¿Existen acaecimientos inanalizables, esto es, hechos últimos a base de los cuales haya que explicar todos los demás y que no puedan concebirse ellos mismos como objeto de ulteriores análisis más profundos? Según una determinada escuela, acaecimientos como el salto cuántico que se produce cuando un átomo emite un quantum de luz son ulteriormente analizables. No podemos discutir aquí esta cuestión en detalle, pero, como filósofos cautos, deberíamos conjeturar que de nuestra incapacidad para analizar un acaecimien-

to empírica o teóricamente no puede inferirse con seguridad que el acaecimiento mismo sea atómico en sentido etimológico, o sea, irreducible. La imposibilidad de analizarlo puede deberse a nuestros instrumentos de análisis, ya los instrumentos empíricos, ya los conceptuales, cosa que ha ocurrido muchísimas veces en la historia de la ciencia. Es posible que haya acaecimientos elementales, o sea, realmente inanalizables; pero, si los hay, no podremos saberlo jamás: por eso debemos intentar siempre analizarlos, y considerar que es siempre demasiado pronto para admitir como definitiva nuestra derrota en ese intento.*

Un *proceso* es una secuencia temporalmente ordenada de acaecimientos, tal que cada miembro de la secuencia toma parte en la determinación del miembro siguiente. Según esto, la secuencia de llamadas telefónicas que recibimos durante la semana no es un proceso propiamente dicho, al menos generalmente, pero sí que lo es la secuencia de acaecimientos que empieza por una llamada telefónica al médico y termina con el pago de sus honorarios. Si se analizan con la suficiente profundidad, la mayoría de los acontecimientos resultan procesos. Así, por ejemplo, un rayo de luz consiste en la emisión (por una gran colección de átomos, en tiempos ligeramente diferentes y al azar) de grupos de ondas que se propagan a una velocidad finita. No es tarea fácil la de precisar los procesos presentes en la maraña de los acaecimientos. Rara vez da la experiencia un proceso: en la ciencia al menos, la mayor parte de los procesos se formulan hipotéticamente. Así, por ejemplo, no se ve empíricamente la evolución de las estrellas, sino que hay que imaginar modelos de tal evolución y contrastarlos luego por el procedimiento de registrar e interpretar acaecimientos como las huellas dejadas por la luz de las estrellas en placas fotográficas.

Un *fenómeno* es un acaecimiento o un proceso tal como aparece a algún sujeto humano: es un hecho perceptible, una ocurrencia sensible o una cadena de ellas. La rabia o la cólera no es un fenómeno más que para el sujeto que sufre un acceso de cólera; pero, en cambio, algunos de los acaecimientos somáticos que acompañan a un acceso de cólera —algunos actos de comportamiento— son fenómenos. Los hechos pueden darse en el mundo externo, pero los fenómenos son siempre, por así decirlo, en la intersección del mundo externo con un sujeto conocedor (fig. 12.1). No puede haber fenómenos o apariencias

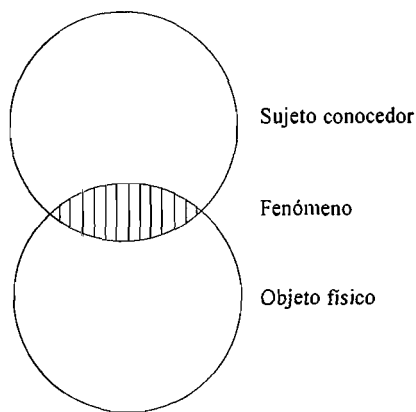


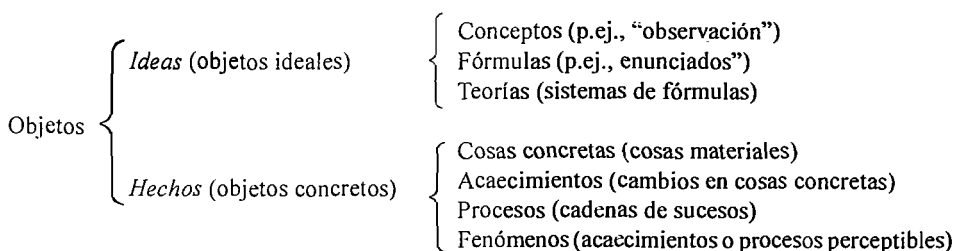
FIGURA 12.1. Los fenómenos como hechos que ocurren en los intercambios entre el sujeto conocedor y su entorno.

sin un sujeto sensible que se sitúe en una adecuada posición de observación. Un mismo acaecimiento (hecho objetivo) puede aparecer de modos diferentes a observadores diferentes, aunque éstos se encuentren equipados con los mismos artificios de observación (cf. sec. 6.5). Esta es una de las razones por las cuales las leyes fundamentales de la ciencia no se refieren a fenómenos, sino a redes de hechos objetivos. El uso de ‘fenómeno’ no es, empero, coherente: en la literatura científica ‘fenómeno’ se toma a menudo como sinónimo de ‘hecho’, igual que en el lenguaje ordinario ‘hecho’ se confunde frecuentemente con ‘verdad’.

(Hay, desde luego, una vieja cuestión filosófica al respecto: la de si tenemos acceso a algo que no sea fenoménico, o sea, que no se presente por sí mismo a nuestra sensibilidad. Si no se admite más planteamiento que el estrictamente empírico, entonces es obvio que sólo los fenómenos se considerarán cognoscibles: tal es la tesis del *fenomenismo* o fenomenalismo. Pero si se admite que también el pensamiento desempeña un papel en el conocimiento, además de la vista, el olfato, el tacto, etc., entonces puede ensayarse una gnoseología más ambiciosa, una gnoseología que suponga que la realidad—incluyendo la experimental—es cognoscible, aunque sólo sea parcial y gradualmente: ésta es la tesis de las varias clases de *realismo*. Según el fenomenismo, el objetivo de la ciencia es coleccionar, describir y sistematizar de modo económico los fenómenos, sin inventar objetos diafenoménicos o trasobservacionales. El realismo, por el contrario, sostiene que la experiencia no es una instancia última, sino que tiene que explicarse a base de un mundo mucho más amplio, aunque sólo cognoscible indirectamente: el conjunto de todos los existentes. Para el realismo la experiencia es una clase de hechos: cada experiencia singular es un acaecimiento que ocurre en el sujeto conocedor, el cual se considera a su vez como un sistema concreto que tiene expectativas y un acervo de conocimiento con dos consecuencias: la deformación y el enriquecimiento de la experiencia. Según eso el realismo estimulará la invención de teorías que rebasen la sistematización de los datos experienciales y requieran consiguientemente ingeniosos procedimientos de contrastación. Hemos visto en varios lugares, especialmente en las secciones 5.9, 8.4 y 8.5, que la ciencia presupone una epistemología realista y va cumpliendo gradualmente el programa de ésta.)

Por último, llamaremos entidades o cosas físicas a los *entes concretos*, con el fin de distinguirlos de objetos conceptuales como las teorías. Una onda de luz es una cosa concreta, y también lo es una comunidad humana, pero una teoría de una u otra cosa es un sistema conceptual. La palabra ‘sistema’ es filosóficamente más neutral que ‘cosa’, la cual denota en la mayoría de los casos un sistema dotado de masa y acaso táctilmente perceptible; consideramos natural el decir que un campo de fuerzas es un sistema, pero nos resistiríamos a llamarlo también cosa. Por otra parte, al llamar a todos los existentes ‘sistemas’ concretos, estamos afirmando tácitamente —de acuerdo con una sospecha que cada vez se refuerza más en todos los terrenos de la ciencia— que no hay entidades simples, sin estructura. Ésa es una hipótesis programática que ha resultado fecunda en el pasado, porque ha estimulado la búsqueda de complejidades ocultas tras las apariencias simples. Tengamos, pues, en claro que al adoptar la convención de que los protagonistas de los acaecimientos deben llamarse sistemas concretos, estamos haciendo una hipótesis ontológica que trasciende el alcance de las ciencias especiales.

Los acaecimientos y los procesos son lo que ocurre a, en o entre cosas concretas. (Dejamos aquí sin considerar la doctrina metafísica según la cual las cosas no son más que conjuntos de acaecimientos, pues esa doctrina es lógicamente incoherente, ya que el concepto de suceso se define como un cambio de estado de una cosa.) Los acaecimientos, los procesos, los fenómenos y las cosas concretas son, pues, los hechos; o, por mejor decir, los incluiremos dentro de la extensión del concepto de hecho. Los hechos son, a su vez, una clase de objetos. Un *objeto* es, en efecto, todo lo que es o puede ser tema del pensamiento o de la acción. Las cosas y sus propiedades son objetos; también los conceptos y sus combinaciones (por ejemplo, proposiciones) son objetos, pero de otra clase: a menudo se les llama *objetos ideales*. Los hechos, el tema de la ciencia factual, son objetos de otra clase: se les puede llamar *objetos concretos*. El siguiente esquema resume brevemente esta cuestión:



¿Qué decir de las *propiedades* físicas, como el peso, y de las *relaciones*, como la subordinación? ¿Debemos contarlos como objetos materiales o como objetos ideales? Si optamos por lo primero, nos vemos obligados a concluir que las propiedades y las relaciones pueden existir por sí mismas, aparte de cualquier cosa concreta y de sus cambios (acaecimientos y procesos); y también que pueden existir cosas concretas desprovistas de toda propiedad. Pero ambas conclusiones discrepan de la ciencia, la cual se ocupa de hallar las propiedades *de* cosas concretas y las relaciones *entre* ellas, y, a un nivel de abstracción más alto, se dedica a investigar también las relaciones entre propiedades y relaciones. Y si incluimos las propiedades y las relaciones entre los objetos ideales, entonces nos vemos constreñidos a la hipótesis de que los objetos concretos tienen componentes ideales, las “formas” del arcaico hilemorfismo. Por ser ideales, esas propiedades y relaciones no serían, además, susceptibles de examen empírico, lo que haría a la ciencia factual no-empírica.

Entonces, si no pueden clasificarse ni como objetos materiales ni como objetos ideales, ¿qué son las propiedades y relaciones físicas? La solución más sencilla a esa cuestión consiste en declarar que no existen. Pero entonces volveríamos a tener cosas sin propiedades y acaecimientos sin relaciones entre ellas, lo que quiere decir que nos encontraríamos en un callejón sin salida a la hora de explicar nuestros éxitos en el descubrimiento de leyes. No parece, pues, que este planteamiento tenga salida, porque no hay ni propiedades ni relaciones *aparte* de las cosas y de sus cambios. Esa reflexión indica la vía razonable del pensamiento por lo que hace a este problema. Empezar por recordar que lo que por de pronto existe son ciertas cosas *con* propiedades y relaciones. Entidades

sin propiedades serían incognoscibles, y, por tanto, la hipótesis de su existencia sería insusceptible de contrastación; y relaciones y propiedades sin arraigo en cosas nos son desconocidas; aún más, toda teoría factual refiere a cosas concretas y a sus propiedades y relaciones (cf. sec. 7.2). En resolución: las propiedades y relaciones de cosas concretas tienen tan escasa existencia autónoma como las ideas. Pero estas últimas, como son obra nuestra, pueden *pensarse* independientemente de los correspondientes procesos cerebrales, y por esta razón podemos considerarlas como una especial clase de objetos: en última instancia, las ideas existen porque alguien las piensa, con lo que no hay razón para pensarlas fuera de toda cosa material, aunque una idea sea un proceso cerebral.

¿Y qué decir acerca de los hechos *posibles*, pero no actuales? ¿Dónde colocarlos? La pregunta misma es en este caso capciosa: desde el momento en que los llamamos “hechos posibles” estamos admitiéndolos como una subclase de hechos, o sea, estamos suponiendo tácitamente que el conjunto de los hechos es la unión de los hechos actuales y los hechos posibles. Hasta aquí, pues, la cuestión es puramente verbal. Pero se convierte en problema epistemológico en cuanto preguntamos si la ciencia se limita a las actualidades o trata también de los posibles. Bastan un vistazo a cualquier ciencia para convencerse de que lo último es el caso. Así, por ejemplo, el genetista estudia la clase de todas las “informaciones” que *pueden* transmitirse (sin distorsiones o con ellas) por los organismos a su descendencia, y estima la probabilidad de que una información codificada de ese tipo se transmita efectivamente, o sea, la probabilidad de que se actualice cualquier posibilidad dada. Análogamente, cuando el técnico evalúa decisiones posibles utiliza conocimiento sobre hechos actuales y supuestos acerca de hechos posibles, por ejemplo, acerca de posibles acciones de su oponente (la naturaleza, el competidor, el enemigo). El que un acaecimiento sea posible o no lo sea depende de las leyes de la naturaleza: puede decirse de éstas, metafóricamente, que ponen constricciones a la posibilidad. Pero el que se actualice o no una posibilidad admitida por las leyes de la naturaleza depende del concreto estado del sistema de que se trate (o sea, de sus condiciones iniciales y/o límite, por ejemplo). Así, es posible que una pareja sana dé nacimiento a un niño de dos cabezas: las leyes de la genética no prohíben ese acaecimiento, aunque le atribuyen una probabilidad muy baja. Pero el que una pareja sana dada engendre realmente un tal monstruo depende de las circunstancias concretas que se dieron durante la impregnación.

Hasta el momento nos hemos ocupado de las varias clases de hechos; vamos a echar ahora un vistazo a los hechos en relación con el sujeto conocedor. Podemos producir hechos deliberada o involuntariamente, y podemos también formularlos hipotéticamente. Las incidencias cotidianas nos son en parte dadas, y en parte las hacemos nosotros; el científico experimental averigua más hechos, el teórico formula hipótesis sobre ellos y los explica, y el técnico elabora recetas para la producción económica y para la evitación de los hechos que tienen valor práctico (positivo o negativo, respectivamente). La ciencia se interesa por todos ellos, pero sobre todo por los *hechos no-ordinarios*, o sea, por los hechos que no se encuentran al alcance del lego, sino que requieren instrumentos especiales, empíricos o conceptuales. Así, por ejemplo, la caída del granizo en nuestro tejado no interesará especialmente al meteorólogo, el cual puede, en cambio, interesarse por la formación de nubes de granizo en general, proceso cuyos detalles no son directamente observables, sino que tienen que formularse hipotéticamente (o inferirse, como

también suele decirse). El hallazgo y la elaboración de hechos no-ordinarios es de particular interés para el científico porque no es una cuestión puramente empírica, sino que supone hipótesis, teorías e instrumentos proyectados con la ayuda de tales ideas.

Lo *dado* al científico es muy pocas veces el hecho mismo: generalmente, el científico presenta él mismo alguna evidencia en favor o en contra de la conjetura de que ha ocurrido o puede ocurrir un determinado conjunto de hechos. Así, el meteorólogo no observa la formación de cristales de hielo allá arriba, del mismo modo que tampoco el historiador observa el proceso social del que habla. Lo observable suele ser una pequeña fracción de los hechos que constituyen el objeto de una investigación; los hechos o fenómenos observables no son más que documentos que sugieren o confirman la existencia tras ellos de hechos más interesantes. Los hechos son como los icebergs: su mayor parte está oculta bajo la superficie de la experiencia inmediata, la cual es a menudo muy diversa de los hechos a los que apunta. (Hace mucho tiempo que se notó que lo perceptible no es sino una parte de lo existente, y que muchos fenómenos se originan en acaecimientos imperceptibles. En los primeros días del pensamiento hipotético se identificó lo indivisible frecuentemente con lo sobrenatural e inescrutable. Fue un mérito de los físicos-filósofos jonios el indicar que lo invisible es natural, y que es escrutable a través de sus efectos. Lo que los atomistas griegos no consiguieron fue controlar lo invisible actuando sobre ello y contrastando así efectivamente las hipótesis sobre lo no-perceptible: éste es un logro del hombre moderno.) La porción sumergida de los hechos tiene que ponerse hipotéticamente y, para poder contrastar tales hipótesis, hay que añadirles relaciones determinadas entre lo observado y lo inobservado, relaciones por las cuales lo observado pueda considerarse como evidencia en favor o en contra de lo hipotético y no visto, de modo que lo no-visto pueda explicar lo que vemos. Esas relaciones están representadas por las hipótesis y las teorías. No podemos evitarlas si queremos acercarnos más a los hechos; nuestra única preocupación al respecto tiene que ser el evitar hipótesis infundadas e incontrastables (cf. cap. 5). En la ciencia factual la teoría y la experiencia se interpenetran, no están separadas, y sólo la teoría puede llevarnos más allá de las apariencias, hacia el núcleo de la realidad.

Consideremos, por último, algunos equívocos y algunas paradojas centradas en torno del término 'hecho'. En primer lugar, obsérvese la ambigüedad de la expresión 'es un hecho'. Si decimos 'Es un hecho que la Tierra gira alrededor del Sol' podemos estar pensando (i) en la *hipótesis* "La Tierra gira alrededor del Sol" o (ii) en el *hecho* al que refiere esa hipótesis. La ambigüedad no es peligrosa mientras la expresión 'es un hecho' no se utilice como expediente retórico para ocultar una hipótesis disfrazándola de dato. Pero, en general deberíamos abstenernos de usar el giro 'es un hecho', y preferir las locuciones más claramente honestas 'afirmamos', o 'suponemos', según el caso.

En segundo lugar, algunos filósofos han llamado con consciente intención hechos a todas las *proposiciones factuales singulares*. Con esta maniobra verbal el problema de la verdad factual, o sea, el problema de la estimación de las proposiciones factuales por medio de criterios de la verdad, se elude sin resolverlo. Además surgen unos cuantos rompecabezas paradójicos. Por ejemplo, hay que admitir entonces hechos negativos, hechos alternativos y hechos generales: si algo no ocurre se llama a ese "algo" un hecho negativo; si quedan abiertas dos posibilidades, la actitud descrita mueve a hablar de un hecho alter-

nativo; y si se presenta un conjunto de hechos de la misma clase esos filósofos los llamarán colectivamente hecho general. Pero todo eso es confusionario y equívoco: lleva a confundir los hechos con las ideas acerca de los hechos. Y esta distinción arraiga en sanas reglas del uso lingüístico según las cuales (i) el nombre *hecho* se da a existentes y cambios “positivos” (aunque no necesariamente actuales) exclusivamente, (ii) la negación se atribuye a fórmulas, no a la realidad, y análogamente (iii) la generalidad se predica de ciertas fórmulas. (Ese hablar de hechos negativos, alternativos o generales puede a veces ser algo más que grosería verbal: puede ser consecuencia de una doctrina filosófica. Así, por ejemplo, algunos sistemas de metafísica hindúes parecen postular la existencia de hechos negativos; la epistemología ingenua del reflejo y la doctrina del isomorfismo entre el lenguaje y la realidad exigen también hechos negativos. Efectivamente: si toda proposición refleja algún aspecto del mundo, entonces una proposición negativa tiene que reflejar un hecho negativo, una proposición general tiene que reflejar un hecho general, una contradicción tiene que reflejar fuerzas en conflicto, etc. Los materialistas, los hegelianos, el primer Wittgenstein y, en algún momento, Russell han sostenido análogas tesis. Nosotros nos abstendremos de reificar operaciones lógicas como la negación, la disyunción o alternativa y la generalización.)

En tercer lugar, una significación o un sentido se atribuyen a menudo a hechos, literal (lo cual puede ser peligroso) o metafóricamente (lo cual es en cambio inocente). Así por ejemplo, podemos decir ‘Un gas se enfría por expansión, lo que *significa* que el gas pierde energía térmica al superar cualquier resistencia, externa o interna, que se oponga a su libre expansión’. La palabra ‘significa’ puede y debe evitarse en un enunciado como el anterior: se puede sustituir ventajosamente por expresiones como ‘se debe a’, o ‘se explica por la hipótesis de’. Cuando un físico escribe descuidadamente que ‘el hecho *x* significa *y*’ no está pensando que los hechos puedan significar nada en sentido literal. En cambio, los filósofos tradicionales se han preguntado a menudo cuál es la significación de la existencia humana, o de la historia humana, etc. Eso es también un lapsus, aunque enormemente peligroso: la cuestión era en realidad cuál era la *finalidad* de ciertos acaecimientos y procesos, cuál era el plano maestro oculto. Por eso la pregunta ‘¿Cuál es la significación de *x*?’ daba por supuesto que *x* tenía un “sentido”, en el sentido de finalidad, de tal modo que la presencia de *x* “tenía sentido” en alguna imagen antropocéntrica o teísta. Nosotros evitaremos estos errores atendiendo a la regla lingüística según la cual sólo los signos artificiales pueden significar: los hechos no pueden significar. (Sobre el concepto de significación cf. sec. 2.2.)

Una cuarta confusión se produce por la expresión ‘demostración de hechos’, que no es infrecuente entre los científicos. Un hecho, como la hipnosis, por ejemplo, puede mostrarse, puede hacerse aparecer, y puede hacerse plausible una hipótesis sobre un hecho determinado; pero sólo los teoremas pueden *demostrarse*, esto es, argüirse concluyentemente. Si se pudieran demostrar en sentido literal los hechos, ellos serían verdaderos, y su ausencia sería falsa (o sea, serían falsos los correspondientes “hechos negativos”), lo cual sería una quinta confusión. Pero no hay hechos verdaderos, desde luego, sino sólo exposiciones de hechos, verdaderas o falsas. Si todo lo que significa la frase ‘demostración de hechos’ es su presentación, exhibición o despliegue, ¿por qué no decirlo correctamente?

Otra, la quinta expresión confusionaria, es ‘hecho científico’. Esta locución significa corrientemente un hecho cuya ocurrencia se averigua, certifica o controla por medios científicos. En este sentido la hipnosis es un “hecho científico” y no lo es la telepatía. La expresión, aunque muy corriente, debe evitarse, porque los hechos son susceptibles de tratamiento científico, pero ellos por sí mismos no sólo no pueden ser científicos, sino que son analfabetos. Los hechos no son ni científicos ni acientíficos: simplemente son. Lo que puede ser científico o acientífico es el pensamiento, las ideas y procedimientos, no sus objetos.

Esto nos bastará como introducción lingüística al estudio de la fuente más elemental del conocimiento: la observación de hechos.

Problemas

12.1.1. Las expresiones ‘hecho psicológico’ y ‘hecho sociológico’ son de uso frecuente. ¿Están limpias de ambigüedad?

12.1.2. H. Spencer, en sus célebres *First Principles*, Nueva York, Appleton, 1896, parte II, cap. VIII, menciona algunos supuestos hechos que deben darse por seguros antes de interpretar la evolución biológica, como que la materia (con la significación de “masa”) es indestructible (quiere decir “constante”), que el movimiento es continuo y que la fuerza (quiere decir “energía”) persiste (quiere decir “se conserva”). ¿Son realmente hechos? ¿Y son tan “duros” como creía Spencer?

12.1.3. Según el apreciado *Vocabulaire technique et critique de la philosophie* (artículo *Données*) de A. Lalande, los datos científicos se identifican con lo dado: el Diccionario llama efectivamente *datos* a los hechos que se presentan al sujeto y sirven como puntos de partida de la investigación. Examinar esa propuesta lingüística y, en particular, la doctrina epistemológica subyacente según la cual (i) todos los datos son dados, y (ii) lo dado precede a algo conjeturado.

12.1.4. Informar sobre la doctrina platónica del objeto, el nombre, la descripción, la imagen y el conocimiento. Véase su Carta VII, de Platón, 342A-343B.

12.1.5. Examinar la doctrina russelliana sobre los hechos negativos y generales, en “The Philosophy of Logical Atomism”, *The Monist*, 28, 502ss., 1918 y 29, 42ss., 1919. *Problema en lugar de ése*: Estudiar e ilustrar el concepto de posibilidad de ciertas reacciones, o en las consideraciones del biólogo acerca de la posibilidad de ciertas líneas evolutivas.

12.1.6. Cuando nos enfrentamos con una situación que nos sea familiar podemos sentir la tentación de decir que ‘los hechos hablan por sí mismos’. Y cuando alguien hace una previsión increíble o una propuesta aparentemente inviable tenemos también la tentación de decir ‘deja que los hechos lo resuelvan’. Analizar esas expresiones. *Problema en lugar de ése*: Analizar las frases ‘Un hecho es un enunciado verdadero’ y ‘Ese libro expone los hechos básicos acerca de los números.’

12.1.7. La locución ‘objeto científico’ se popularizó por obra del físico A. S. Eddington, el cual, en un paso célebre de *The Nature of the Physical World*, Cambridge, Cambridge University Press, 1928, habla de dos mesas diferentes: la vulgar mesa lisa de la percepción y la que llamaba mesa científica, que es una colección de moléculas. ¿Efectivamente hay dos objetos diferentes, uno vulgar y otro científico, o más bien dos conceptos e imágenes diferentes de un mismo objeto? ¿Y es posible tener una noción vulgar de todo objeto accesible a la ciencia? Cf. L. S. Stebbing, *Philosophy and the Physicists*, Londres, Methuen, 1937, cap. III.

12.1.8. La descripción de hechos supone y maneja conceptos universales, como “cosa” y “dura”, y puede perfectamente presuponer también enunciados de leyes, como las leyes física y química

de conservación que “garantizan” que nuestro escritorio no va a desaparecer ni a convertirse en una momia egipcia mientras estemos fuera de nuestro cuarto de trabajo. Por tanto, toda descripción de un hecho es al mismo tiempo y en alguna medida una interpretación del mismo a la luz de algún cuerpo de conocimiento. ¿Suprime esto la distinción entre hechos e interpretación de hechos?

12.1.9. Examinar la tesis según la cual las ciencias de la naturaleza estudian la experiencia humana –los fenómenos– y no la naturaleza, los hechos objetivos. *Problema en lugar de ése*: Analizar la doctrina, en otro tiempo muy difundida, expuesta por A. N. Whitehead y según la cual los objetos físicos no son más que sistemas de acaecimientos puntuales.

12.1.10. Discutir la doctrina expuesta por G. Ryle: en *Dilemmas*, Cambridge, Cambridge University Press, 1954, cap. vii, según la cual no existe el fenómeno de la percepción (de la visión, por ejemplo), sino un uso incorrecto del verbo ‘percibir’, el cual nos engaña haciéndonos creer que la palabra denota un proceso correlatado, por ejemplo, con procesos fisiológicos. *Problema en lugar de ése*: ¿Es el análisis lingüístico una propedéutica para la epistemología o una adecuada sustitución de ésta?

12.2. OBSERVABILIDAD

La observación propiamente dicha puede caracterizarse como una percepción *intencionada e ilustrada*: intencionada o deliberada porque se hace con un objetivo determinado; ilustrada porque va guiada de algún modo por un cuerpo de conocimiento. El objeto de la observación es un hecho del mundo interno o externo del observador. En particular, el objeto externo puede consistir en una serie de señales en un papel: la lectura, que supone a la vez visión e interpretación, es efectivamente un caso típico de observación. Si el hecho ocurre en el observador, puede ser necesaria la introspección, porque un observador externo no consigue observar más que los actos de comportamiento que acompañan a un hecho interno. Pero sea interno o externo, el objeto tiene que ser perceptible para que podamos hablar de observación directa. Convendremos en usar el término ‘observación’ en un sentido estricto de *observación directa*. La “observación” de choques moleculares o de los sentimientos de otras personas es indirecta: es una *inferencia* hipotética que se sirve de datos de observación y de hipótesis. En el mejor de los casos puede entenderse como una *observación indirecta*.

No hay observación pura, es decir, observación sin objeto observado, del mismo modo que tampoco la hay sin observador, humano o no. Cuando alguien dice ‘*x* está observando’ quiere decir que hay al menos un objeto (actual o posible), *y*, que está siendo observado por *x*, o sea “($\exists y$) (*x* es un sujeto & *y* es un sistema concreto & *x* observa *y*)”. Esto puede generalizarse a toda experiencia: la experiencia no es un objeto autosubsistente, sino una cierta transacción entre dos o más sistemas concretos, uno por lo menos de los cuales es el organismo que experimenta. La experiencia es siempre de alguien y de algo. Por eso los enunciados de experiencia son de la forma ‘*x* experiencia *y*’, y no simplemente ‘*x* experiencia’. Había que dejar establecido este punto elemental a causa de la doctrina que afirma que la física moderna no trata de objetos físicos, sino de experiencias puras.

La observación de un acaecimiento, como el paso de una muchacha o el *clic* de un contador Geiger, no es un percepto aislado y en bruto, sino un haz de sensaciones instan-

táneas, recuerdos y acaso expectativas de acaecimientos semejantes. Hábitos y creencias enlazan el percepto dado con recuerdos de la experiencia pasada y expectativas de acaecimientos futuros. Ningún percepto tiene lugar en el vacío: si así fuera seríamos incapaces de discriminar entre las observaciones, por no hablar ya de interpretarlas. A diferencia de la sensación en bruto, la observación es *selectiva e interpretativa*: es selectiva porque tiene una finalidad, porque es intencionada, y es interpretativa porque es ilustrada. Sentados tranquilamente ante la mesa de un café en una terraza soleada, recibimos una serie de impresiones que no nos preocupamos ni de ordenar ni de interpretar, porque no tenemos más intención que la de disfrutar de esas experiencias mismas. En cambio, si nos encontramos sentados ante el tablero de control de un microscopio electrónico, con la intención de estudiar la estructura de ciertas vesículas celulares, seleccionaremos precisa y exclusivamente los perceptos que supongamos relevantes para nuestro objetivo, y los integraremos en nuestro conocimiento especializado. (Nuestro objetivo es, naturalmente, conseguir información relevante abundante y precisa. El acento recae en la relevancia: el exceso de detalle, si es irrelevante, puede resultar tan molesto en la ciencia como en la vida cotidiana. El naturalista aficionado registrará montones de hechos que despreciará el biólogo profesional en su trabajo de campo; en cambio, este último recogerá unas pocas observaciones esenciales que en gran parte habrán pasado inadvertidas al observador sin entrenamiento, por falta de un objetivo determinado; pues ese objetivo no puede venir dado sino por un sistema conceptual.) Además, al mismo tiempo interpretaremos lo que estamos viendo, o parte de ello: lo que parece al lego una mera mancha oscura puede ser una vesícula según la interpretación del especialista en morfología. Y claro que esa interpretación puede ser errada, es decir, que el resultado de nuestra observación puede ser falso. Pero, en cualquier caso, la interpretación es algo más que inevitable en la observación: es conveniente, porque tenemos que interpretar lo que percibimos, si es que queremos hacer una selección de objetos perceptuales relevantes para nuestras ideas y nuestros objetivos. Si no tenemos ideas ni objetivos, no podremos registrar nada, o bien tendremos que registrar todo lo que cae dentro de nuestro horizonte perceptual: pero ambas cosas serán indiferentes desde el punto de vista de la ciencia.

En la observación podemos distinguir el acto de su producto. Pero el producto de un acto de observación no es sino el último eslabón de un proceso complejo. Ese proceso puede analizarse en los siguientes pasos: (i) tomar consciencia del objeto, (ii) reconocer el objeto a grandes rasgos y (iii) describir el objeto. El primer estadio es la *presentación* del objeto, o sea, su percepción por el observador. Por ejemplo, un astrónomo ve una mancha de luz al dirigir el telescopio en una determinada dirección (con la expectativa de ver algo interesante). En general: El sujeto w tiene la percepción x de un objeto y en las circunstancias z . La naturaleza del objeto está aún por precisar. El segundo estadio es la *interpretación preliminar* de lo que ha percibido el sujeto: así se determina a grandes rasgos la naturaleza del objeto percibido. Por ejemplo, el astrónomo interpreta la mancha luminosa que ha visto como una llama que surge de la corona solar (puede incluso sentirla como una amenaza, cosa que indudablemente es). En general: El sujeto w propone una interpretación v de la percepción x como causada por el objeto y en las circunstancias z . El objeto queda, pues, identificado en alguna medida. El tercer estadio es la *descripción*: toda proposición de la misma es un *dato* y , por el momento, en bruto. Por ejemplo,

el astrónomo describe con un lenguaje más o menos técnico lo que ha visto e interpretado, o sea, lo que ha “leído” con la ayuda de su telescopio. Se abstiene de describir sus propias experiencias (salvo que tenga algo de poeta o loco) y enuncia lo que a su entender es una exposición objetiva de su observación. Al dar esa exposición excluirá sus sentimientos y utilizará algunos términos técnicos, cada uno de los cuales designa un especial concepto teórico o empírico. En general: El sujeto w construye la descripción (imagen, representación) u del objeto y , que causa la percepción x en w en las circunstancias z , y w construye u sobre la base de su interpretación preliminar v y con la ayuda del conocimiento previo explícito t . Esta descripción final o conjunto de datos puede ser a su vez material en bruto para el astrónomo teórico, el cual suministrará una interpretación *teórica* de ese material en bruto, o sea, una interpretación más profunda y detallada que la dada por el observador; por ejemplo, el teórico puede interpretar la llama solar como resultado de una reacción termonuclear.

El lego puede fallar en los tres estadios: puede no llegar ni a *ver* lo que perciben los entrenados ojos del especialista. Y, aunque vea el objeto, puede no *reconocerlo*, porque el reconocimiento o interpretación preliminar es la inserción de algo en un marco pre-existente, y si le falta ese marco, el observador se encuentra en un callejón sin salida. Por último, aun reconociendo correctamente el objeto, el lego puede ser incapaz de *describirlo* cuidadosa y adecuadamente y, a fortiori, de proponer una interpretación teórica del mismo. A la inversa, el especialista puede “leer” demasiado en lo que percibe. (Hasta Leonardo da Vinci, el mejor observador de su época, pintaba no sólo lo que veía, sino también lo que había aprendido en los libros: por ejemplo, trazó el esquema de un segundo canal uretral por el cual debía pasar el alma al embrión durante la concepción.) Dicho brevemente: la observación científica es un modo refinado de aprehender el mundo perceptible y de poner a prueba nuestras ideas sobre el mismo: está influenciada por el conocimiento científico y, por tanto, puede ser indirecta igual que directa, y precisa o errada; pero, como sus resultados son públicos, puede controlarse y corregirse mediante el trabajo de un especialista calificado.

En el proceso de observación, antes de que sus resultados se recojan en algún informe, pueden reconocerse esencialmente cinco elementos: el *objeto* de la observación, el *sujeto* u observador (incluyendo, como es natural, sus percepciones), las *circunstancias* de la observación (o medio ambiente del objeto y el sujeto), los *medios* de observación (sentidos, instrumentos auxiliares y procedimientos), y el cuerpo de *conocimiento* en el cual se encuentran relacionados los anteriores elementos. Los medios de observación y el cuerpo de conocimiento relevante pueden agruparse bajo el nombre de *instrumentos* de observación (concretos y conceptuales), lo cual nos deja con cuatro elementos. (Son medios para el observador, pero no para el proyectista de instrumentos, ni para el teórico.) Los enunciados de observación tiene según eso la forma: ‘ w observa x bajo y con la ayuda de z ’.

Hasta el momento hemos considerado la observación actual; dilucidemos ahora el concepto de *observabilidad*. En una primera aproximación podemos estipular que un hecho es observable sólo si existen por lo menos un sujeto, un conjunto de circunstancias y un conjunto de instrumentos de observación, de tal modo que el hecho pueda aparecer al sujeto armado de esos instrumentos y bajo dichas circunstancias. Esta dilucidación depende del

concepto psicológico de apariencia y es, por tanto, insatisfactoria: deberíamos excluir la posibilidad de que los fantasmas se consideraran observables por el mero hecho de que alguien declare de buena fe que se le han aparecido. O sea: deberíamos especificar qué es *objetivamente observable*. Se da un primer paso en esta dirección sustituyendo el observador humano por un instrumento físico de registro, como una máquina fotográfica o un termómetro. Por eso estipularemos que *x* es *observable* sólo si existe por lo menos un instrumento registrador *x*, un conjunto de circunstancias *y* y un conjunto de instrumentos de observación *z*, de tal modo que *w* pueda registrar *x* bajo *y* con la ayuda de *z*. Con eso no hemos *eliminado* el sujeto, sino más bien la posibilidad de algunas de las ilusiones perceptuales de éste; pero el sujeto no está eliminado, porque alguien tiene que hacer la interpretación de las señales recogidas por la registradora física. Esta última puede estar dotada de un procedimiento de cifrado y descifrado que le permita hacer ella misma la interpretación, pero tampoco eso eliminaría al observador de carne y hueso, que obraría al menos como proyectista o constructor del aparato. Las registradoras físicas, automáticas o no, no sustituyen al operador humano, aunque facilitan su trabajo, y hacen que sus resultados sean públicos y estén menos sujetos a fluctuaciones imprevisibles e indeseables, con lo que son más precisos y de fiar. Pero todo lo que hemos hecho hasta el momento ha sido *añadir* al observador humano *un expediente de control público*. En cualquier caso, la existencia del aparato de observación, de los instrumentos adicionales y de las circunstancias es *necesaria* para que el hecho en cuestión sea observado: como no es suficiente, no garantiza que sea observado: por eso escribimos '*x* es observable sólo si...', y no a la inversa. (Es una condición física de la observabilidad de algún rasgo de un sistema concreto el que éste entre en interacción con un instrumento de observación. Ahora bien, el sistema registrador puede no ser suficientemente sensible: dicho de otro modo, la interacción puede no ser lo suficientemente fuerte para superar el umbral peculiar al aparato, por encima del cual éste responde al estímulo. En este caso el objeto será inobservable con los instrumentos en cuestión, y se presentará el problema técnico de proyectar y construir un aparato más sensible.)

Acabamos de insistir en el carácter público o intersubjetivo de los resultados de la observación científica, condición necesaria para que sea objetiva la ciencia. (Pero no condición suficiente, sin embargo: se sabe que han ocurrido ilusiones perceptivas colectivas y, cosa más común, errores unánimes debidos al uso de teorías erróneas. En cualquier caso, la intersubjetividad no coincide con la objetividad, pero es una condición de ésta.) El carácter público de la observación científica se expresa frecuentemente en forma de regla: una regla que afirma que los resultados de la observación tienen que ser *reproducibles* por otros especialistas en condiciones análogas. Pero esa regla es demasiado exigente, porque excluye todos los hechos no repetitivos. La explosión de una estrella nova, la erupción de un volcán, un acaecimiento político o una crisis emotiva pueden no ser reproducibles a voluntad y, consiguientemente, su observación puede ser irreproducible. Por tanto, todo lo que debemos exigir es que observadores calificados tienen que poder obtener resultados observacionales de *la misma clase* (por ejemplo, erupciones volcánicas) y que, de no ser ello así, los resultados iniciales deben mantenerse en suspenso. La duplicación o repetición exacta es deseable, pero no siempre posible. Y en cualquier caso tampoco es la garantía absoluta de la objetividad: observadores in-

dependientes pueden obtener las mismas observaciones erróneas por el hecho de emplear el mismo equipo inadecuado o las mismas falsas hipótesis. No hay *garantías* de la observación precisa: lo más que podemos hacer es *multiplicar* los controles, o sea, los procedimientos empíricos y teóricos de detección y corrección de errores de observación.

¿Cómo se relacionan la observación y la existencia física (realidad)? Se han propuesto —o podrían proponerse— unas cuantas doctrinas, que, resumidamente, son:

Doctrina 1. La observabilidad es necesaria para la existencia física, o sea, si una cosa existe, es observable, o, lo que es lo mismo: si algo es inobservable, entonces no existe. Esta doctrina es demasiado estrecha y constrictiva, porque anula la existencia de lo que no hemos sido capaces de concebir como observable. Y, en último término, la observabilidad no es una propiedad intrínseca de las cosas, sino una compleja propiedad relacional que incluye nuestro equipo cognoscitivo, el cual está sin duda condicionado históricamente.

Doctrina 2. La existencia física es necesaria para la observabilidad, o sea, si algo es observable, entonces existe; o lo que es lo mismo: si algo es inexistente, entonces es inobservable. Esta doctrina es demasiado amplia, porque admite la existencia de todo lo que pueda concebirse como observable. Basta un poco de imaginación para construir instrumentos y condiciones en las cuales resultaría observable la cosa más fantasmagórica.

Doctrina 3. La existencia física es necesaria y suficiente para la observabilidad, o sea, una cosa es observable si y sólo si existe. Esta doctrina es falsa, porque es la afirmación conjunta de las doctrinas 1 y 2, cada una de las cuales como hemos visto, es falsa.

Doctrina 4. La observación actual es necesaria para la existencia física, o sea, si una cosa existe, entonces es actualmente observada. Esta doctrina es aún más rigurosa que la doctrina 1, y hay que rechazarla a fortiori.

Doctrina 5. La existencia física es necesaria para la observación actual o sea, si algo es observado, entonces existe. Si se toma literalmente, esta doctrina admite y sanciona la inferencia de la existencia física a partir de la observación, sin dar lugar a la posibilidad de la observación errónea. Todo lo que puede inferirse de la observación actual de x es la *plausibilidad* de la hipótesis de que x existe efectivamente: partiendo de informes favorables de observación “concluimos” una proposición sobre el valor veritativo de otra proposición que tiene el rango de hipótesis si x resulta no ser directamente observable. Pero todo esto puede recogerse sin modificar el núcleo de la doctrina 5, sino considerando simplemente como *rectificables* tanto los informes de observación cuanto los supuestos de existencia. Adoptaremos entonces la siguiente versión de la doctrina 5 sobre la relación entre la observación y la realidad:

Doctrina 6. Si una cosa se observa efectivamente con la ayuda de instrumentos empíricos y conceptuales adecuados, entonces puede adelantarse provisionalmente la hipótesis de su existencia física. Si alguien piensa que esta doctrina es excesivamente cauta, le recordaremos que de hecho se han observado muchas veces demonios, fantasmas, platillos volantes, etc., lo cual no ha bastado para confirmar la hipótesis de que existan. Podemos llamar a estos casos percepciones insanas, o inferencias erróneas a partir de percepciones sanas, como queramos: pero en todo caso fueron observaciones. Y en vez de resistirnos a concederles ese nombre, debemos recordar que la observación, y en especial la científica, está muy lejos de ser una relación puramente física entre dos sistemas,

el objeto y el sistema observador: la observación es un proceso en el cual desempeñan un papel decisivo los hábitos, las expectativas, las habilidades prácticas y el conocimiento científico de que disponga el observador, si no durante el registro efectivo de las impresiones, que puede automatizarse, si durante el planeamiento de la observación y durante la interpretación de su producto. Además, los informes de observación no se aceptan, por así decirlo, a tenor de su valor facial, sino que se comparan con otros informes de la misma clase y se analizan a la luz de teorías para ver si son posibles. Como dijimos antes, la observación científica es percepción intencionada e ilustrada, es una operación selectiva e interpretativa en la cual las ideas tienen al menos tanto peso como las impresiones sensibles: eso es precisamente lo que hace que la observación científica sea relevante para el conocimiento conceptual y que, al mismo tiempo, constituya una fuente de error. La compensación es que los errores de observación pueden en principio detectarse, que no son la roca sólida sobre la cual se construye el conocimiento científico, sino un *componente cambiante* del mismo: la observación científica es tan falible y tan rectificable o corregible como la teoría científica, con la cual, por lo demás, está en constante interacción.

El papel de las ideas en la observación es especialmente manifiesto en el caso de los objetos indirectamente observables, o sea, en el caso de inferencia desde el síntoma a la causa por medio de hipótesis. La rotación de un anemómetro informa acerca de la velocidad del viento, que es en sí misma inobservable; el *clic* de un contador informa acerca del paso de un rayo cósmico; la anomalía del movimiento de un astro informa acerca de la posible existencia de planetas que estén perturbando su trayectoria; el rubor informa acerca de la presencia de emociones de cierto tipo, etcétera.

En todos esos casos, en cada uno de ellos, un acaecimiento o propiedad física se considera como síntoma o signo natural de otro objeto, el cual está oculto a la percepción directa. El hallar indicadores u objetificadores de cosas ocultas, de propiedades o acaecimientos ocultos, es una importante tarea de la ciencia, una tarea anterior sistemáticamente a la observación, la cual, a su vez, somete a prueba la conjetura de que esos objetos directamente observables son en realidad manifestaciones de otros. Puede decirse que una propiedad observable es un *indicador fiable* de otra propiedad sólo si existe una relación determinada y constante entre ambas, de tal modo que todo cambio observable de la primera pueda interpretarse como, o atribuirse a, un cambio determinado de la segunda. La propiedad cuya existencia o cuyo valor se infieren de este modo se llama propiedad *indirectamente observable*. La observación indirecta no es, pues, posible sino a través y por medio de la teoría. Cuanto más precisa sea la teoría, tanto más precisa será esa inferencia. Ésta es una de las razones que hacen estimar altamente las teorías matemáticas, pues en este caso las relaciones toman formas muy precisas. (En la sección siguiente se habla más de esto.)

La dependencia de la observabilidad respecto de la teoría suscita cuestiones de interés. He aquí una de ellas: ¿Con qué certeza podemos concluir que una determinada propiedad trasempírica es observable o inobservable en principio? Si se declara observable a una propiedad —quiere decirse: indirectamente observable— y fracasan los esfuerzos hechos por observarla, es posible que la situación permita aprender algo. En cambio, si se la declara inobservable por principio, se habrán reprimido por anticipado líneas enteras de investigación. Por ejemplo, hasta hace pocos años se enseñaba que los átomos serían

siempre invisibles, pese al rendimiento de los microscopios electrónicos más potentes. Afortunadamente, E. W. Müller (1951) puso en duda esa afirmación y, manejando un microscopio iónico a baja temperatura, obtuvo fotografías de átomos singulares; consiguió incluso ver desprenderse un átomo tras otro del retículo cristalino. Se trata, ciertamente, de observación indirecta, pero así es la mayor parte de la observación científica.

En la anterior discusión hemos aceptado como base la llamada *teoría causal de la percepción*. Según ella nuestras percepciones no son nunca espontáneas ni casuales, sino que están producidas según leyes por objetos extraperceptuales, situados dentro o fuera de nuestro cuerpo. Consideramos que esta hipótesis está satisfactoriamente corroborada por la psicología, aunque hay que dejar hueco a un pequeño componente casual ("ruido"), sobre todo porque hoy sabemos que ese componente afecta incluso al aparato registrador más perfecto. La teoría causal de la percepción presupone a su vez la hipótesis filosófica (ontológica) de que hay hechos objetivos, de que estos hechos son ontológicamente previos a los hechos experienciales, y de que todo fenómeno es un hecho que aparece a un sujeto. Según eso, los fenómenos son lo primario por lo que hace al conocimiento, pero no ontológicamente: tenemos que partir de los fenómenos y las ideas si deseamos saber algo acerca del mundo eterno, pero la realidad es autosuficiente y es el objeto de nuestra investigación. Consideramos que esta tesis está a la vez presupuesta y corroborada por la investigación científica. Baste con mencionar dos apoyos científicos de la hipótesis de la primacía del hecho objetivo sobre el fenómeno. Primero: una de las enseñanzas epistemológicas de la teoría de la relatividad es que las leyes de los hechos son absolutas (o sea, independientes de todo marco de referencia, y particularmente de todo observador), mientras que los hechos observables (fenómenos) son relativos al marco de referencia adoptado en cada caso. (Cf. sec. 6.5.) Segundo: nunca buscamos leyes de los fenómenos, porque no hay tales leyes: la apariencia no tiene estructura; el flujo de la experiencia constituye una serie temporal al azar; por tanto, los esquemas o estructuras se buscan y encuentran más allá de la apariencia, en una realidad que se supone allí, pero tiene que afirmarse por hipótesis, puesto que no puede percibirse directamente. Dicho de otro modo: la ciencia misma ha destronado los fenómenos e instalado en su lugar los hechos objetivos, generalmente imperceptibles, y sus estructuras invisibles. Los fenómenos son ontológicamente derivados, por muy primarios que sean epistemológicamente como suministradores de los problemas y de la evidencia. La observación es, pues, una puerta grande hacia el hecho y la ley, los objetos de la investigación científica. Por eso el concepto de observación no puede considerarse como un concepto primitivo a base del cual deba dilucidarse todo lo demás: por el contrario, la observación debe analizarse como proceso complejo que tiene lugar en todos los niveles atravesados por el hombre.

Nuestra tarea inmediata será el análisis algo más detallado de la observación indirecta.

Problemas

12.2.1. ¿Observan y describen los científicos la totalidad de lo dado? ¿Y se preocupan los historiadores por recoger todo documento e intentar reconstruir cada momento del pasado? *Problema en lugar de ése*: Comentar las siguientes tesis de Macaulay sobre el trabajo del historiador. (i) El

historiador “tiene que ser un razonador ingenioso y profundo. Pero tiene que poseer el suficiente autodominio para abstenerse de empotrar violentamente los hechos en el molde de sus hipótesis”.

(ii) La historia tiene que ser verdadera, pero selectivamente verdadera, y no enteramente verdadera: “No puede ser perfecta y absolutamente verdadera; porque para serlo, tendría que recoger *todos* los detalles minúsculos de las más minúsculas relaciones e interacciones, todas las cosas hechas y todas las palabras usadas durante el periodo que estudia”, lo cual es prácticamente imposible. (iii) “El historiador deficiente en el arte de la selección puede, sin mostrar más que la verdad, producir todos los efectos de la mayor falsedad”. Cf. *Miscellaneous Works of Lord Macaulay*, ed. por Lady Macaulay. Nueva York, Harper & Brothers, s. a., pp. 154, 161 y 162, respectivamente.

12.2.2. Examinar las opiniones de R. Avenarius y E. Mach según las cuales (i) la percepción no lo es de nada, y (ii) las cosas son complejos más o menos estables de sensaciones. (Esta última caracterización del concepto “cosa” procede de Berkeley y la adoptaron J. S. Mill y R. Carnap.)

12.2.3. Las únicas magnitudes directamente medibles en astronomía son el brillo de las estrellas y el ángulo subtendido en el telescopio por dos objetos celestes. Todas las demás magnitudes, particularmente las distancias y las masas, se infieren con la ayuda de teorías y de los datos angulares indicados. ¿Puede entonces la astronomía considerarse como una *ciencia de observación*?

12.2.4. Observar las fascinadoras fotografías de átomos tomadas con el microscopio iónico de campo, E. W. Müller, *Journal of Applied Physics*, 28, 1, 1957, y reflexionar acerca de las “demostraciones” de que los átomos son por principio inobservables. *Problema en lugar de ése*: Analizar la cámara fotográfica adaptada a un telescopio como un observador por poder.

12.2.5. Considerar los siguientes casos de inobservabilidad de principio. (i) Presumiblemente se están formando en este momento estrellas y enteras galaxias muy distantes, las cuales no se encuentran aún en interacción con nuestro planeta; la luz y el campo gravitatorio que están emitiendo nos alcanzarán, si llegan a alcanzarnos, en un remoto futuro. (ii) Es lógicamente posible que existan otros universos que sean auto-contenidos, o sea, sin interacción con el nuestro. Examinar las dos conjeturas respecto de su contrastabilidad y respecto de su fundamentación.

12.2.6. ¿Existe algún procedimiento de observación a prueba de cualquier inseguridad y por el cual pueda garantizarse información empírica con certeza completa? En caso de que no exista tal procedimiento de observación libre de errores, ¿sería posible proyectar uno? ¿O sería más razonable perfeccionar los procedimientos corrientes para compensar y corregir los errores de observación. Cf. G. Ryle, *The Concept of Mind*, Londres, Hutchinson, 1949, p. 238. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema de la alteración del objeto observado por obra del propio proceso de observación. como ocurrió con los mitocondrios, que quedaban destruidos por los fijadores más corrientes, los cuales son ricos en ácido acético. ¿Es posible evitar esas alteraciones?

12.2.7. Alrededor de 1950 hubo algunas observaciones astronómicas que parecían refutar las predicciones basadas en algunos modelos relativistas del universo. Se abandonaron entonces esos modelos en favor de otras teorías concurrentes, sobre todo la del estado constante, o teoría de la creación continua. Más tarde se mostró que aquellas observaciones eran incorrectas, y de nuevo gozó de favor la cosmología relativista. Inferir de esa historia alguna enseñanza más o menos como lo haría la duquesa de Alicia en el País de las Maravillas.

12.2.8. La especulación acerca de la existencia de vida extraterrestre se considera frecuentemente como una fabulación de ficción científica porque no existen datos de observación directa acerca de sistemas planetarios distintos del nuestro. Las únicas indicaciones son hasta el momento ciertas teorías sobre la formación de los astros, así como las anomalías del movimiento de algunos cuerpos celestes. ¿Condena esa pobreza de datos la “exobiología”? Cf. G. G. Simpson, *This View of Life: The World of an Evolutionist*, Nueva York, Harcourt, Brace & World, 1964, cap. 13.

12.2.9. Examinar la argumentación según la cual el intento de mostrar la fiabilidad de la observación es por fuerza viciosamente circular, porque una decisión relativa a informes

observacionales no puede fundarse más que en otros informes de la misma naturaleza. Cf. H. Mehlberg, *The Reach of Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1958, p. 92.

12.2.10. Visitar un laboratorio de física nuclear y preguntar a cualquier miembro del equipo qué está observando. Luego intentar situar su respuesta en una epistemología fenomenista. Indicación: y no perder mucho tiempo si eso resulta imposible. *Problema en lugar de ése*: La mayor porción de la observación microscópica supone la producción de cambios en el objeto observado, de tal modo que, en última instancia, lo observado es cosa diferente. ¿Cómo puede, sin embargo, inferirse algo acerca del observandum inicial? ¿Y qué cambios se han introducido por la invención del microscopio por contraste de fase, el microscopio electrónico de barrido, la cromatografía o la visualización de procesos cerebrales por resonancia magnética (fMRI)?

12.3. INDICADOR

La mayoría de los hechos acerca de los cuales sabemos algo no son observables sino de modo vicario, o sea, que no pueden sino inferirse a través de la mediación de hechos perceptibles y por medio de hipótesis. Así, por ejemplo, el viento no es directamente observable, sino inferido a partir de cuerpos de control que se suponen movidos por él, o bien sintiendo su presión en nuestro cuerpo: en cualquier caso conjeturamos la existencia de una ráfaga de viento y, si nos interesa una estimación más cuidadosa de nuestra suposición, tenemos que someterla a prueba, porque nuestra inferencia puede haber sido infundada (los movimientos observados pueden deberse a un terremoto o a la embriaguez del observador). Análogamente, cuando vemos ruborizarse a alguien atribuimos el hecho a su vergüenza, turbación o cólera, según las circunstancias concomitantes del hecho (información adicional) y nuestro conocimiento de la psicología. Y formulamos la hipótesis de que está teniendo lugar un acaecimiento social cuando vemos que unos tanques rodean edificios públicos y que la gente corre por las calles.

En todos esos casos aducidos como ejemplos lo que hacemos es *objetivar* un hecho inobservable sentando su relación según leyes con algún hecho perceptible (o conjunto de hechos perceptibles) que sirven como *indicador* del primero. Dicho de otro modo: hacemos hipótesis sobre hechos no-percibidos y los contrastamos por medio de evidencia que consiste en datos acerca de hechos directamente observables, partiendo de la suposición de que estos últimos son concomitantes de o efectos de los primeros. La afirmación o supuesto de que efectivamente se cumple esa relación legal entre los observables y los inobservables es, naturalmente, una *hipótesis*, aunque, suele decirse que es una *definición operativa* u operacional. La fig. 12.2 resume lo dicho hasta aquí.

Lo anterior puede precisarse con la ayuda del concepto de función. Sea U un miembro de un conjunto de valores posibles de una propiedad inobservable, como la presión atmosférica, y O un miembro de un conjunto de valores de una propiedad directamente observable, como la altura de una columna barométrica. Supongamos, además, que hay una teoría que afirma una relación funcional F entre los valores O y los valores U : $O = F(U)$. Entonces, invirtiendo esta relación y midiendo O , podemos inferir los correspondientes valores de U . En la fórmula " $O = F(U)$ " tanto U cuanto O son conceptos teóricos, pero O representa una propiedad directamente observable. Y la relación misma es una hipóte-

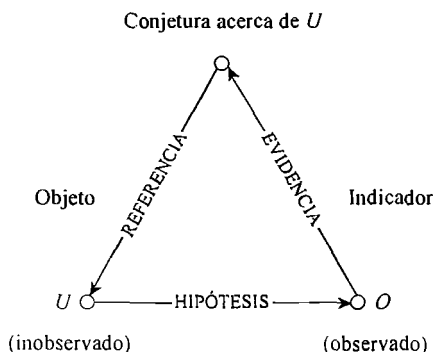


FIGURA 12.2. La relación objeto-indicador que es una relación física, se expresa por una hipótesis que nos permite inferir el objeto a partir de observaciones hechas sobre su indicador.

sis que tiene que fundamentarse y confirmarse de algún modo. En el caso del viento, O puede ser la velocidad angular medible del anemómetro, y U la inobservable velocidad del viento. En el caso de la evolución biológica, O puede ser el grado de semejanza anatómica entre dos especies, y U el correspondiente grado de afinidad específica. Y en el caso de una rata sometida a condicionamiento instrumental, O puede ser el número de presiones por minuto ejecutadas por el animal en una barra, y U la intensidad de un impulso, por ejemplo, el apetito de agua azucarada. Si O es un concepto cuantitativo (una magnitud), se le llama *medida* de U , que no hay que confundir con la idea de *medición* de U .

Cuando un científico sostiene que ha descubierto un nuevo “efecto”, se espera de él que presente evidencias en favor del mismo, esto es, que ofrezca información en apoyo de su afirmación que, si es que tiene interés, se referirá a inobservables. Ahora bien, las evidencias pueden ser directas o indirectas, tanto en sentido lógico cuanto en sentido epistemológico. Una *evidencia lógicamente directa* sobre una proposición es un dato que puede compararse con dicha proposición, o con un caso o ejemplo de ella si es general. Así, por ejemplo, toda nueva medición de la velocidad de la luz da evidencia directa en favor o en contra de los valores previamente hallados y también es una evidencia en favor de la hipótesis general de que la velocidad de la luz es un absoluto.

Una *evidencia lógicamente indirecta* en favor de una proposición es una evidencia que coincide con ella sin ser comparable con ella. (Dicho de otro modo, las evidencias indirectas no están extensionalmente relacionadas con las correspondientes hipótesis, a menos que se añadan enunciados complementarios. En particular, su extensión lógica no está contenida en la extensión de la hipótesis: no son casos o ejemplos de sustitución de esta última. Por ejemplo, la anatomía comparada, la fisiología y la embriología suministran evidencia indirecta (“colateral”) en favor de la hipótesis de que el hombre descende de ciertos primates antropoides. Sólo la reconstrucción hipotética de alguno de esos primates antropoides, sobre la base de unos pocos huesos conservados, suministra una evidencia lógicamente directa en apoyo de la hipótesis.

La evidencia indirecta es mucho más importante en la ciencia que la evidencia directa: la evidencia directa no sirve más que para apoyar o destruir generalizaciones empíricas de nivel bajo, y éstas son más típicas del conocimiento ordinario que de la ciencia progresada. De hecho, no hay evidencia lógicamente directa que pueda sostener o refutar los axiomas de una teoría: hay que explicitar los consecuentes de nivel bajo que tienen

los axiomas y compararlos con datos empíricos. Aún más: toda evidencia a la que se recurre para convalidar o invalidar una teoría propiamente dicha es no sólo lógicamente colateral, sino incluso *gnoseológicamente indirecta*, en el sentido de que las hipótesis trasempíricas no pueden contrastarse más que por el procedimiento de someter a prueba sus consecuencias observacionales. Consiguientemente, la evidencia relevante para una teoría será diferente del referente de la teoría: en otro caso la teoría no estudiaría objetos trasempíricos. Por ejemplo, la evidencia relevante para la filogenética no es filogenética, porque no podemos observar las mutaciones, adaptaciones y otros procesos que determinan las características de la descendencia: todos nuestros datos son pobres documentos, como unos cuantos huesos viejos, a partir de los cuales se “infieren” conclusiones hipotéticas. En resolución: los axiomas de las teorías científicas, a diferencia de la evidencia empírica relevante para ellos, no se refieren directamente a hechos observables. Por tanto, hay que arbitrar los apropiados síntomas o indicadores, lo cual suscita todo un haz de problemas metodológicos.

Las ropas que viste un hombre, el automóvil (o el asno) que le lleva, y sus maneras de manifestarse pertenecen a una constelación de indicadores objetivos del estatus social, que es en sí mismo inobservable. Por eso, dada la hipótesis “*c* pertenece a la clase *R* en la jerarquía social dominante en su sociedad”, podemos contrastarla mediante la observación de ciertas propiedades del individuo *c*: esos datos se usarán como evidencia relevante para nuestra hipótesis porque aceptamos ciertas generalizaciones referentes a la relación entre los indicadores (mal llamados “símbolos del estatus”) y el status social. En la ciencia, esas relaciones entre indicadores y los correspondientes inobservables son (i) *postuladas* por la teoría, y (ii) *sometidas a prueba de modo independiente* en la medida de lo posible. Por ejemplo, la identificación de un animal como miembro de una especie dada, o la inclusión de una especie en un género, se hacen sobre la base de haces de indicadores de una media docena de clases diferentes: anatómicos, fisiológicos, bioquímicos, ecológicos, biogeográficos y etológicos. Los rasgos anatómicos son los más fáciles de observar, y, prácticamente, los únicos disponibles en el caso de los fósiles; pero los otros se están haciendo cada vez más de fiar a medida que se van conociendo más cosas sobre ellos. En cualquier caso, todos suministran evidencia para fines de identificación y clasificación sobre la base de ciertos enunciados de leyes, como “Cada especie tiene su propio nicho ecológico”. (Dicho sea de paso, la propiedad de pertenecer a una especie animal puede considerarse como una macropropiedad incluso en el caso de los microorganismos. Es interesante observar que algunos de los indicadores taxonómicos, como los histológicos y los bioquímicos, son micropropiedades frecuentemente inobservables en la práctica. Esto vale para refutar la idea de que sólo las micropropiedades requieren indicadores y que estos últimos tienen que ser siempre macropropiedades.)

Tomemos, como otra ilustración más, la objetificación de los sueños. Los sueños no se sometieron a estudio científico hasta que se arbitraron indicadores objetivos de los mismos: antes de eso, desde los antiguos egipcios hasta el psicoanálisis, los sueños eran tema de interpretación arbitraria especulativa. Dos indicadores objetivos del proceso del sueño son los movimientos rápidos de los ojos, detectados por medio de electrodos muy sensibles colocados en los párpados, y las perturbaciones de las ondas cerebrales recogidas por el electroencefalógrafo. Esas técnicas de recolección de datos permiten al inves-

tigador establecer si el sujeto está efectivamente durmiendo, pero no revelan así el contenido del sueño, su argumento. Sin embargo, no hay fundamento suficiente para negar que un día también este último pueda objetificarse. En cualquier circunstancia, e igual que en el caso del detector de neutrones o el de mentiras, los futuros detectores de sueños se proyectarán con base en ciertas hipótesis, y acaso teorías, que establezcan ciertas relaciones definidas entre hechos inobservables y observables, relaciones de la forma " $U = F(O)$ ". Pues ésa es, dicho sea de paso, una de las funciones y uno de los logros de las teorías científicas: lanzar un puente por sobre el abismo que se hunde entre los observables y los inobservables, por el procedimiento de hacer que alguno de los últimos resulte indirectamente observable o, más bien, objetificable.

Cuando la relación postulada entre la variable inobservable U y su manifestación observable O no está de algún modo *justificada por una teoría* ni es *independientemente contrastable*, la afirmación de que un determinado U queda de hecho objetificado por un determinado O es poco más que una ocurrencia o un dogma. Tal es, desgraciadamente, el caso de la mayoría de los tests psicológicos usados por la psicología clínica en el momento de escribir estas líneas: se sostiene que esos tests objetifican ciertas funciones mentales y ciertos rasgos de la personalidad, pero rara vez se contrastan de un modo independiente, por no hablar ya de incorporarlos a una teoría capaz de explicar cómo trabajan y por qué. (Cf. sec. 11.3.) En el mejor de los casos esos tests estarán justificados empíricamente. Así, por ejemplo, los tests de inteligencia están justificados por estudios prolongados del rendimiento escolar de los sujetos, pero, como es natural, nadie puede estar seguro en este caso de medir originalidad, memoria, tenacidad o alguna combinación de todos esos rasgos.

Las relaciones indicador-indicado, de la forma " $U = F(O)$ ", no son arbitrarias, como sostiene el operativismo. El operativista, ansioso de evitar toda metafísica, tiende a considerar toda relación de objetificación (o relación objeto-indicador) como una definición. Por ejemplo, cuando postula que el hambre puede medirse por el tiempo de privación de alimentos, sostiene que la construcción hipotética "hambre" queda *eliminada* con esa interpretación, y sustituida por una variable medible ("tiempo" —de privación de alimentos). Pero esa actitud es conceptualmente falsa, pues no toda relación entre variables constituye una definición (cf. sec. 3.6). Y también es falsa empíricamente, porque la particular relación (una relación lineal) entre el hambre y el tiempo de privación de alimentos, relación que se acaba de mencionar, es una gran simplificación que no puede tomarse sino como aproximación grosera y mientras no se tengan índices más fiables del hambre (por ejemplo, índices fisiológicos). Considerar las hipótesis objeto-indicador como meras convenciones, como decisiones que no necesitan ni teorización ni puesta a prueba empírica e independiente, es tan peligroso como sostener que se poseen facultades únicas (por ejemplo, de vidente) o instrumentos (la esfera de cristal, por ejemplo) para penetrar en lo no visto.

Ahora que hemos echado un vistazo al objeto y a los medios de la observación podemos examinar el resultado final de dicha operación.

Problemas

12.3.1. Mencionar acciones que exterioricen sentimientos y pensamientos, y que puedan, por tanto, utilizarse para “leer” estos últimos. *Problema en lugar de ése*: Algunos locos aprenden a comportarse normalmente para evitar su internamiento. ¿Hay medios para detectar su oculta anomalía? ¿Y qué relevancia tiene este hecho para el conductivismo?

12.3.2. Examinar cómo se supone que funciona cada uno de los instrumentos siguientes. (i) El voltímetro (para objetificar las intensidades del campo eléctrico). (ii) El electroencefalógrafo (para detectar lesiones cerebrales). (iii) Los detectores de mentiras.

12.3.3. Analizar la técnica fotogramétrica, en particular en su aplicación para inferir las condiciones del suelo (e incluso huellas grandes dejadas por asentamientos humanos) a base de fotogramas aéreos. *Problema en lugar de ése*: Examinar algunas técnicas de visualización de procesos mentales, tales como la tomografía por emisión de positrones (PET) y la resonancia magnética (MRI).

12.3.4. Analizar un puñado de indicadores económicos (tales como el PIB) y sociales (tales como el índice de Gini). *Problema en lugar de ése*: Analizar la técnica de la fotoelasticidad para visualizar tensiones internas en materiales.

12.3.5. Discutir los méritos y deméritos, por lo que hace a la sensibilidad y a la fiabilidad, de los varios indicadores del pensamiento: el habla, la escritura, los electroencefalogramas, el potencial de acción del labio superior, etc. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema general de la justificación (convalidación) de indicadores o medidas en psicología.

12.3.6. El objetivador o índice no debe reaccionar de un modo importante sobre el acacamiento o proceso a cuya manifestación sirve. Por ejemplo, si un aparato de medición se conecta con un sistema, no debe consumir sino una fracción muy pequeña de la energía de éste. ¿Por qué? ¿Se observa esa precaución por los psicólogos que usan la introspección indirecta, por ejemplo, cuando intentan aclarar el pensamiento resolutor de problemas pidiendo al sujeto que verbalice (esto es, que dé concreta expresión verbal) los varios pasos de las estrategias que ha escogido?

12.3.7. Los animales sometidos a severas tensiones, cansancio o desgaste presentan los órganos internos considerablemente ampliados y deformados. Examinar esos indicadores anatómicos de la tensión. Cf. H. Selye, *The Stress of Life*, Nueva York, McGraw-Hill, 1956.

12.3.8. Algunos estados individuales, como el de dolor, son intransferibles, privados. ¿Se sigue de ello que no puedan objetificarse y tengan, por consiguiente, que permanecer fuera del alcance de la ciencia? ¿Prestan atención los fisiólogos y los psicólogos a esa pretensión de algunos filósofos del espíritu, o excogitan más bien modos de objetificar esos estados internos, y de poner a prueba, de un modo independiente, los informes sobre ellos? *Problema en lugar de ése*: Supongamos que los estados mentales no fueran solamente privados (intransferibles, incompatibles), sino, además, ocultos (inescrutables) y, por tanto, incognoscibles desde fuera. En ese caso, si alguien dijera ‘Sufro un dolor’, no estaría expresando una proposición, pues las proposiciones tienen que ser verdaderas o falsas, mientras que la anterior expresión no sería más que un lamento, poco más que un grito. ¿Cuál es el elemento erróneo que contiene la doctrina que hace del dolor y el placer meros gritos?

12.3.9. Considerar los enunciados de evidencia que apoyan o falsan las hipótesis: “Hoy hace mucha humedad”, “Estaba orgulloso de sus hijos”, y “Este país está estancado”. ¿Contienen los enunciados de evidencia las instrucciones teóricas que se presentan en las hipótesis? ¿Qué clase de evidencia son? ¿Y cómo podríamos justificar la pretensión de que son piezas de evidencia? ¿O podemos permitirnos el lujo de ignorar esta cuestión?

12.3.10. Examinar los siguientes enunciados: (i) “Los termómetros registran las variaciones de temperatura”. (ii) “Los termómetros registran las variaciones de temperatura de los sistemas a

los que se adhieren”. (iii) “Los termómetros causan cambios de temperatura en su entorno”. (iv) “Las lecturas termométricas y las temperaturas del entorno resultan ser aproximadamente coincidentes”. (v) “Los termómetros producen estados térmicos”. (vi) “Los termómetros definen el concepto de temperatura”. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema general de la relación entre propiedades trasempíricas y sus manifestaciones observables. Indicación: Evitar la confusión corriente entre los conceptos “disposicional” e “inobservable”.

12.4. DATOS Y EVIDENCIA

Las ideas que expresan el resultado de una fase de observaciones son un conjunto de datos. Un dato es una proposición singular o existencial como, por ejemplo: “Se inyectó a la rata # 13 1 mg de nicotina el primer día.” Supongamos que ponemos la rata # 13 bajo observación y que descubrimos que ha desarrollado un cáncer de pulmón. Podemos entonces formular el siguiente informe de observación: “La rata # 13 desarrolló un cáncer de pulmón unos 20 días después de administrársele una dosis de 1 mg de nicotina.” Llamaremos también a eso dato, aunque no se ha derivado de la observación directa: esa proposición ha requerido, en efecto, la previa disección del animal y un análisis microscópico de sus tejidos pulmonares. El cáncer de pulmón puede haberse conjeturado a partir de ciertos síntomas perceptibles, pero esa hipótesis se contrastó en cualquier caso luego con la ayuda del microscopio y de un cuerpo de conocimiento relativo a las células cancerosas. Incluso el dato inicial sobre la inyección de nicotina suponía ya algún conocimiento que rebasaba la experiencia inmediata: el experimentador no decía que hubiera inyectado una porción del contenido de una ampolla con la etiqueta ‘Nicotina’, sino que cargaba con el riesgo de suponer que la etiqueta estaba correctamente puesta, supuesto que habría podido refutarse por un análisis químico. Si el experimentador hubiera escrito: ‘Llené una jeringuilla con una solución de algo que parecía nicotina, luego cogí lo que me pareció ser la rata # 13 y le inserté con asco lo que me pareció ser la aguja’, habría retratado un fragmento de su flujo privado experiencial; pero entonces nadie —salvo, acaso, su psiquiatra— se habría interesado por su informe, el cual sin duda habría sido un dato, pero desde luego no un dato científico.

Hay varias razones para no considerar datos científicos los informes sobre la experiencia privada. Primero, porque se supone que el experimentador informa acerca de hechos objetivos (*referencia objetiva*). Segundo, porque sus experiencias personales son irrelevantes para esos hechos objetivos. (Pueden ser de interés para la psicología en la medida en que puedan relacionarse con y controlarse por hechos objetivos del comportamiento o de acaecimientos fisiológicos.) Tercero, porque se supone que sus informes han de ser controlables por sus colegas (*publicidad, control público*), mientras que sus experiencias personales no son fáciles de poner a prueba. Cuarto, porque se supone que los datos del científico van cargados de interpretación (cf. sec. 12.2) y hasta que están formulados, en parte al menos, en un lenguaje teórico (cf. sec. 8.4). Si no se exigiera de los datos científicos una referencia objetiva, un control público y un mínimo de interpretación a base de teorías aceptadas, podrían inventarse arbitrariamente y serían irrelevantes.

tes para las ideas que se supone sostienen o arruinan. Consiguientemente, los llamados *datos sensibles* no son datos científicos. Las percepciones puras (si es que eso existe) no son los sillares de la ciencia, sino un problema propiamente psicológico: la ciencia —con la psicología incluida— empieza con las interrogaciones del especialista y con la formulación de conjeturas, no por la sensibilidad. Dicho con pocas palabras: la ciencia se interesa por datos *impersonales* que se refieren a hechos *objetivos* (aunque acaso hipotéticos) y, además, por mayor exigencia, sólo por aquellos que puedan “tener sentido” en algún cuerpo de conocimiento; lo que quiere decir, aún más condensadamente, que la ciencia sólo se interesa por datos *sistematizables*.

Otra peculiaridad de los datos científicos es que, pese a la etimología de la palabra ‘dato’, no son nada dado, sino que hay que producirlos, y muchas veces laboriosamente. Los objetos físicos de cierta clase —los cuerpos perceptibles y algunos de sus cambios— se nos dan como tales, esto es, como objetos físicos. Así, por ejemplo, son perceptibles las ondas sonoras de determinadas características, pero no se perciben *como ondas*: la naturaleza ondulatoria del sonido es una hipótesis y, por tanto, los datos referentes a longitud y amplitud de una onda sonora no expresan hechos de experiencia (fenómenos). Como *objetos de conocimiento*, los objetos físicos se reconstruyen como resultado del trabajo humano y sobre la base de (i) su apariencia, (ii) su manipulación por nosotros y (iii) nuestra invención y subsiguiente contrastación de modelos de los mismos. (El fenomenismo ha subrayado el primer aspecto; el pragmatismo ha exagerado el segundo, y el idealismo la primera parte del tercero: cada una de esas filosofías se ha limitado a ver una parte de la entera verdad.) Los objetos del conocimiento no se sitúan gratuitamente y ya confeccionados en nuestros sentidos o en nuestra inteligencia, sino que son productos constructivos de unos y otra, y los datos son a la vez el resultado y el material en bruto de esa construcción.

Con eso no queremos negar la existencia de hechos objetivos. Los hechos —al menos la mayoría de ellos— existen por sí mismos. Pero para apresarlos, para convertirlos en objetos del conocimiento, el científico puede verse obligado a usar medios muy retorcidos, todos los cuales suponen el uso de ideas a cuyo respecto no puede (o no debería) estar completamente seguro. Consideremos al físico que desea estudiar el comportamiento de los electrones en un metal, o al historiador que se propone reconstruir el comportamiento de los sumerios. Ninguno de esos hechos, esquemas o estructuras, es accesible a los sentidos: todo lo que hay es un conjunto de datos (información física, documentos históricos) que, si se sitúan sobre el fondo del conocimiento especializado, pueden sugerir (psicológica, no lógicamente) ciertas hipótesis que es necesario contrastar buscando más datos. Estos otros datos, una vez producidos (“recogidos”), serán evidencia en favor o en contra de la hipótesis en cuestión. (Obsérvese que el método del físico es el mismo del historiador; difieren sólo por la especial técnica usada por cada uno para producir datos y por la potencia de sus modelos teóricos.)

Los empiristas, como Bacon y Comte, y los intuicionistas, como Bergson y Husserl, han postulado la recolección de datos sin previa formulación de hipótesis o supuestos: de este modo se recogerían datos “puros” y “duros”, sobre los cuales no habrían desteñido las ideas y que, por esa razón, serían de completa garantía. Pero el hecho es que nadie se pone a buscar nada —datos, en este caso— sin tener presente un abanico de posibilidades

sobre las propiedades de lo que está buscando. Hasta los animales subhumanos buscan en base a un trasfondo de expectativas. Si no fuera así, (i) no se reconocería la cosa buscada al encontrarla (lo que quiere decir que no se encontraría nunca), y (ii) no sabríamos cómo practicar esa operación de búsqueda. Cuanto más ignora uno el aspecto del objeto buscado, tanto más tiene que ejercitar la imaginación; y cuanto más sabe uno acerca de dicho objeto, de tantas más hipótesis dispone en principio para orientar la búsqueda. Tomemos como ejemplo la búsqueda radioastronómica de señales de posibles civilizaciones extraterrestres: nadie habría sabido lo que había que buscar si no se hubieran formulado supuestos determinados respecto de seres extraterrestres inteligentes, capaces de comunicarse en todo caso mediante señales de radio (primera consecuencia para la búsqueda: usar radiotelescopios), respecto del hecho de que esos seres pueden estar en gravitación alrededor de cualquier estrella (segunda consecuencia: registrar todo el cielo), etcétera. Es claro que esos supuestos pueden ser falsos; pero si no se formularan, no tendríamos ni esperanza de producir alguna vez evidencia empírica respecto de seres racionales extraterrestres.

Toda evidencia es un dato, pero no todo dato es una *evidencia*. El carácter evidencial de un dato no es una propiedad intrínseca suya. Son evidencias los datos que son relevantes para alguna idea. Por ejemplo: la teoría atómica nos lleva a sospechar que las partículas cargadas que atraviesan una placa fotográfica pueden dejar una huella en ella. Si efectivamente hallamos tales trazas en el examen microscópico, las interpretamos como efectos producidos por partículas cargadas, y así obtenemos evidencia de una nueva clase en favor de la teoría atómica. Esta teoría predice, pues, su propia evidencia, una evidencia, incluso, que no puede dar apoyo a las teorías de la materia como continuo. Análogamente se interpreta un fósil como resto de un organismo extinguido y, por añadidura, como resto de un organismo extinguido perteneciente con probabilidad a una especie extinguida: esta interpretación se hace a base de la teoría de la evolución. A su vez, consideramos todo hallazgo de fósiles como relevante para la teoría de la evolución. Admitimos que un dato constituye una evidencia en favor de una teoría y atribuimos entonces credibilidad a ésta porque ella explica o hasta predice esa evidencia. (Sin duda esa situación constituye un círculo: convalidamos el dato por la teoría y la teoría por el dato, lo cual es como si un acusado designara él mismo a su juez. *La confirmación empírica es circular* (cf. segundo problema 8.4.10), razón por la cual no tiene valor por sí misma. Cuando una teoría no se confirma más que por la clase de evidencia que ella misma sugiere, esa confirmación carece de valor. Para tener algún peso, la confirmación empírica tiene que complementarse con la satisfacción de otras condiciones más, principalmente la continua incompatibilidad de la teoría con el cuerpo o torso de la ciencia. Es perfectamente posible idear un montón de teorías acerca de los fantasmas y confirmarlas empíricamente con declaraciones de psicóticos, charlatanes y hasta científicos jubilados: pero es imposible hacer cuadrar esas teorías con el resto de la ciencia.

“Evidencia” es, pues, un concepto complejo: tiene que ponerse en relación con las particulares hipótesis para las cuales es relevante, y con el trasfondo de conocimiento —que es a menudo un conjunto de fragmentos de teorías— *T* en base al cual sostenemos que el dato es una evidencia relevante para la hipótesis. Por tanto, la expresión ‘El dato *e* es una evidencia relevante para la hipótesis *h*’ es una expresión incompleta. Debería sustituirse

por esta otra: 'En base a la teoría —o fondo de conocimiento— T , el dato e es una evidencia relevante para la hipótesis h '. El concepto de evidencia tiene, pues, la estructura de una relación triádica o ternaria. Dicho de otro modo: toda evidencia es relativa a alguna hipótesis en virtud de un cuerpo de conocimiento teórico: ninguna evidencia es absoluta y ninguna evidencia es anterior a toda teoría. Por ejemplo: la desviación observada de una aguja magnética en la proximidad de un circuito eléctrico (dato e) favorece la hipótesis h_1 de que la electricidad está fluyendo por el circuito, pero lo hace en base a la teoría T_1 según la cual las corrientes eléctricas producen campos magnéticos que entran a su vez en interacción con los campos de las agujas magnéticas. Pero ese mismo dato e favorece como evidencia la hipótesis, rival de la anterior, h_2 que dijera que se ha colocado cerca algún gran imán, y ese apoyo se basaría en la teoría T_2 que enseña que los imanes pueden entrar en interacción unos con otros. (Cf. fig. 12.3.)

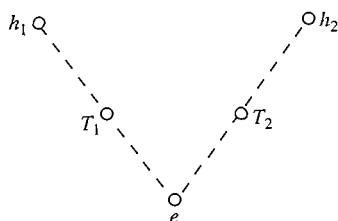


FIGURA 12.3. La relatividad de los datos: un mismo dato apunta ambigüamente a dos hipótesis diferentes a través de dos teorías diferentes.

El dato en cuestión es, pues, *ambiguo*, y sólo mediante una *comprobación independiente* de h_1 y h_2 —o sea, mediante una contrastación independiente de e — podremos llegar a una decisión entre las dos hipótesis rivales, al menos de un modo que nos satisfaga provisionalmente. O sea: hará falta nueva evidencia para estimar la anterior. Ningún dato, pues, es por sí mismo una evidencia, sino que puede *convertirse en una evidencia* una vez interpretado con la ayuda de alguna teoría, y con la misma facilidad puede ser destrozado de su estatus, arrastrado por el hundimiento de la teoría misma.

Antes de llevar a cabo una observación con la finalidad de producir evidencia, hay que decir qué *clase* de datos se considerarán como evidencias. De no hacerlo así se abrirá camino a intentos deshonestos de salvar teorías ineptas, así como observaciones y controversias estériles. Por ejemplo: un psicólogo científico no aceptará, como evidencia en favor de una teoría, informes puramente introspectivos que son, naturalmente, *incontrolables*, como no sea para formular preguntas e inventar hipótesis que puedan luego contrastarse por medio de datos objetivos. Adoptemos, pues, la siguiente *Regla*: La clase de datos que deben contar como evidencia tiene que precisarse por anticipado, antes de la observación y sobre la base de la teoría. No hace falta decir que tanto los datos cuanto la teoría tienen que ser científicos para que la evidencia sea aceptable. Por esta razón los datos que se presentan como evidencia en favor de la hipótesis del conocimiento profético son inaceptables: ni los datos son científicos (de acuerdo con los criterios sentados al principio de esta sección) ni es científica la hipótesis (de acuerdo con los requisitos establecidos en la sec. 5.7). Siempre que un científico obtiene datos que parecen incompatibles con una teoría bien corroborada intenta *reproducir* esos datos, en vez de anular

alegremente datos o teoría. Si resulta imposible reproducir los datos, entonces el científico los dará de lado, por sospechosos de error sistemático. Y en cualquier caso, se repitan los datos o no, el científico intentará *explicar* la anomalía —legalizarla— aplicándole hipótesis o teorías, o construyendo las necesarias, que puedan contrastarse independientemente, o sea, que puedan compararse con datos distintos de los anómalos. Una de las dificultades de los supuestos datos anómalos de los parapsicólogos es que éstos no disponen de teoría alguna para explicarlos: por eso los parapsicólogos no saben cómo sistematizar esos datos ni qué valor tienen. Los datos de la parapsicología no son datos empíricos, y menos aún evidencias, porque no hay en la parapsicología nada preciso para someter a contrastación, ninguna plena hipótesis o teoría. Y cuando no hay teoría, no puede haber evidencia relevante para ella.

¿Existen *datos últimos*, esto es, proposiciones singulares o existenciales que no necesitan apoyo empírico ni teórico? Algunas escuelas filosóficas, señaladamente el fenomenismo y el intuicionismo, han afirmado que ciertos enunciados factuales se sostienen por sí mismos, ya porque son expresión directa de datos sensibles (supuestamente irrectificables), ya porque son autoevidentes (evidentemente verdaderos). Así se dice, por ejemplo, que un enunciado de observación como ‘Esto es verde’ es un dato último de dicha especie: sería según ese punto de vista una proposición singular auto-suficiente (sin necesidad de ningún trasfondo de conocimiento) y definitivo (irrectificable, incorregible). Pero la psicología enseña que la percepción del color se aprende y puede ser falsa. Tampoco salen mejor librados los informes acerca de la experiencia interna: no son más ciertos que los informes acerca de hechos objetivos, sino menos interesantes y menos fáciles de contrastar; por tanto, menos sujetos a contrastaciones efectivas. Supongamos que alguien sostiene que ha tenido una experiencia insólita. Otro observador intenta repetir la observación y no consigue confirmar el primer informe. Este segundo observador puede preguntarse si el primero tuvo realmente esa experiencia, o si realmente interpretó bien lo que experimentaba. Incluso puede intentar una refutación del primer informe por razones teóricas, mostrando que es incompatible con el mejor conocimiento establecido. El primer observador puede seguir sosteniendo que su experiencia fue interna, e incluso que el conocimiento disponible es irrelevante para ella. En este caso será imposible refutar su afirmación por el momento. Y, cosa aún peor, esa afirmación irrefutable se archivará y olvidará en la práctica, porque no sirve a ninguna finalidad científica. Para ser científicos, los datos no tienen que ser irrefutables, sino contrastables, y pueden dejarse en el aire si no los justifica ninguna teoría. En conclusión: la ciencia no conoce datos últimos; no hay sino datos que, en un *determinado estadio* de la investigación, no se analizan ni controlan ulteriormente y se usan como evidencia relevante para ciertas hipótesis y teorías. En un estadio posterior esos mismos datos pueden someterse a examen crítico. Muchas evidencias son *prácticamente concluyentes* por la simple razón de que en algún momento tenemos que tomar decisiones; pero esas decisiones no son arbitrarias, y ninguna evidencia es nunca *concluyente y final en sentido teórico*. Los datos científicos no son más duros ni más permanentes que las hipótesis y las teorías con cuya ayuda se producen, ni que las ideas que ellos sostienen o refutan. Decretar que datos de un determinado tipo son datos últimos sería lo mismo que imponer un dogma peligroso: un dogma que, desde luego, va en contra de la práctica científica.

De hecho, lejos de aceptarse por su valor facial o declarado, los informes de observación se criban con un cedazo teórico. En primer lugar, *se examinan críticamente* en busca de errores de observación. Hay normas de observación que toda disciplina establece con la ayuda de teorías sustantivas, y hay normas de corrección de datos observacionales, las cuales se establecen con teorías sustantivas y, a la vez, con la ayuda de la teoría general de los errores de observación (la cual es una teoría metodológica que se incluye en la estadística matemática). En segundo lugar, los datos se universalizan o *norman* según criterios o estándares generales. Así, por ejemplo, las mediciones de longitud se “reducen” a la temperatura y la presión normales o convencionales, para eliminar las contingentes condiciones locales. Un dato como “La línea roja más brillante del espectro del cadmio medida en Austin, Texas, por el profesor Doe mientras se asesinaba al presidente Kennedy tenía tantos o cuantos angstroms de longitud” es sin duda preciso, pero, por un lado, contiene información redundante y, por otro, no menciona los valores de la temperatura y la presión. El dato *en bruto* puede contener cualquier información, pero el dato *refinado* no tiene que comunicar más que información relevante y de uso universal; esto se consigue podando el dato en bruto y refiriéndolo a una condición normal (convencional), como 15°C y 76 cm de mercurio. Por lo demás, no se trata de maximizar la información empírica, sino de optimizar la precisión y la relevancia de la información universal, de la información que puede ser conseguida por toda persona competente en el correspondiente campo, y también mejorada o corregida. En tercer lugar, siempre que se buscan datos como promedios o dispersiones en torno de promedios —como es el caso en la medición cuantitativa— los datos en bruto tienen que someterse a *reducción*: la información final es en realidad una construcción a partir de los datos en bruto.

Siempre se pierde alguna información en el proceso de examen crítico, normalización y reducción de los datos en bruto. Consiguientemente, dado un conjunto de datos refinados —o sea, de datos elaborados ya a través de un examen crítico, una universalización y una reducción—, no puede recuperarse el conjunto inicial de datos en bruto, que era mucho más considerable: el refinamiento de datos es un proceso irreversible. Es difícil que nadie lamente esa pérdida de información en bruto, porque los datos son medios y no fines: lo que nos interesa es la *sistematización* de datos para descubrir en ellos estructuras, y esto no puede hacerse sin eliminar el “ruido” por el proceso de poda que acabamos de describir (cf. fig. 12.4).

La sistematización de los datos refinados puede hacerse de diversos modos, según la naturaleza de los datos y la finalidad perseguida. Los datos pueden disponerse en gráficos (diagramas, etc.), histogramas (distribuciones), etc. Ninguna de esas técnicas de sistematización sustituirá, desde luego, la teoría: los conjuntos ordenados de datos refinados no son ni más ni menos que alimento para el planteamiento de problemas, la teorización o la estimación de hipótesis y teorías. Pero la función de los datos en el conjunto de la investigación merece una sección propia.

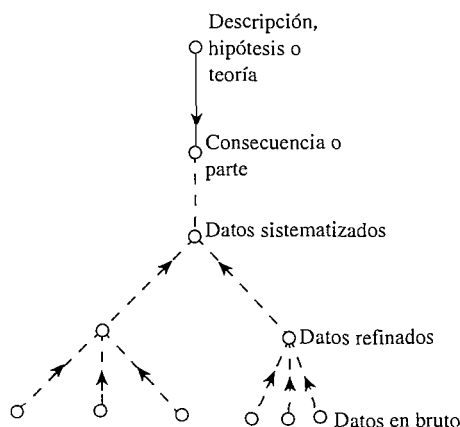


FIGURA 12.4. Los datos se elaboran (refinan) y sistematizan para compararlos con descripciones o teorías.

Problemas

12.4.1. Examinar la influencia de puntos de vista y teorías en la recolección y el uso de los datos antropológicos. Cf. M. J. Herskovits, "Some Problems of Method in Ethnography", en R. F. Spencer (ed.), *Method and Perspective in Anthropology*, Minneapolis, University of Minnesota Press. 1954.

12.4.2. Estudiar el papel de la teoría en la selección de aspectos a observar, así como en la interpretación de los datos, en el campo de la psicología. Cf. D. O. Hebb, "The role of neurological ideas in psychology", *Journal of Personality*, 20, 39, 1951.

12.4.3. Un geólogo en trabajo de campo halla unos huesos fósiles y acude a dos paleontólogos. Uno de ellos piensa que los restos pertenecen a un mono, y el otro que son evidencia en favor de la hipótesis de la existencia de un hombre primitivo en esa región. ¿Qué es lo que les hace discrepar, a pesar de que tienen presumiblemente las mismas impresiones sensibles? *Problema en lugar de ése*: Antes de que se descubrieran efectivamente los correspondientes objetos, se dispuso de placas fotográficas que ya "mostraban" desintegraciones nucleares, positrones y el planeta Plutón. Obtener también una enseñanza de método dimanante de ese hecho.

12.4.4. Discutir el llamado *principio de la evidencia total*, según el cual una hipótesis debe juzgarse a la luz de la totalidad de la evidencia disponible. ¿Basta con eso para conceder a la hipótesis un valor aproximadamente justo?

12.4.5. ¿Qué es lo que guía y motiva la observación científica? Cf. A. Szent-György, bioquímico premio Nobel. "Lost in the Twentieth Century", *Annual Review of Biochemistry*, 32, 7, 1963: "Formulo las teorías más insensatas [¿quiere decir hipótesis?'] que relacionan las reacciones en el tubo de ensayo con [las] más generales opiniones filosóficas, pero paso la mayor parte del tiempo en el laboratorio, jugando con la materia viva, abriendo los ojos, observando y persiguiendo el menor detalle [...] la mayor parte de las nuevas observaciones que hice se basaban en teorías equivocadas."

12.4.6. Los subjetivistas, los intuicionistas y los empiristas han afirmado la existencia de experiencia humana pura, o sea, experiencia no afectada por una anterior creencia o expectativa, y han considerado que los informes acerca de esa experiencia pura (proposiciones de protocolo) son

el fundamento intocable e inanalizable, o el punto de partida del conocimiento. La experiencia pura ha recibido varios nombres: Maine de Biran la llamaba “hecho primitivo”; Comte, “hecho positivo”; Mach, “elemento”; Husserl, “hecho puro”; Bergson, “dato inmediato de la conciencia”, etc. ¿Existe realmente una experiencia pura (una percepción sin interpretación ni expectativas)? Suponiendo que exista, ¿se considerará como perteneciente a la ciencia? ¿Y se aceptan esos datos en bruto o protocolos como básicos por los científicos, en el sentido de que sirvan como sillares o ladrillos de la construcción científica? *Problema en lugar de ése*: Examinar la crítica kantiana de la idea de experiencia pura y mirar si su medicina (la idea de que el entendimiento suministra un marco *a priori* a la experiencia) era mejor que la enfermedad.

12. 4. 7. Averiguar si hay modelos de elección racional, tales como modelos de teorías de juegos en politología, que gozan de soporte empírico. Cf. M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven CT, Yale University Press, 1996, y *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998.

12. 4. 8. C. Darwin, en *The Descent of Man*, 1871, proponía su teoría de la evolución del hombre sin evidencia empírica directa. Ocurrió, muy a la inversa, que la teoría movió a los paleontólogos a buscar evidencia relevante. El propio Darwin explicaba la falta de datos diciendo que (i) las regiones más adecuadas para su conservación no habían sido aún exploradas por los geólogos, y (ii) los progresos geológicos habrían probablemente destruido una parte del registro fósil relevante. Discutir este caso a base de la doctrina de que los datos tienen que ir por delante de la teoría. Cf. W. Le Gros Clark, “The Crucial Evidence for Human Evolution”, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 103, 159, 1959.

12.4.9. Examinar las opiniones siguientes sobre la decisión del científico respecto de la aceptación o recusación de un informe observacional: (i) La decisión está *plenamente justificada* por las experiencias perceptuales del observador. (ii) La decisión es *arbitraria*, y toda búsqueda de justificación está lógicamente injustificada, porque lleva a una regresión infinita. (iii) La decisión está *parcialmente justificada* a la vez por las experiencias perceptuales intersubjetivas y por las teorías científicas, pero en cualquier caso, y además de parcialmente, sólo de modo provisional.

12.4.10. Los datos que consisten en proposiciones singulares contienen nombres propios o *descripciones determinadas*, como ‘el nuevo amperímetro’. Esta expresión se simboliza así: ‘(ιx)Ax’, lo cual se lee: ‘el x (único) tal que x es un A ’, o, para abreviar, ‘el A ’; la expresión se trata como un nombre propio, en el sentido de que puede predicarse de ella cualquier cosa, verdadera o falsamente. Una proposición como “Se está quemando el nuevo amperímetro” puede simbolizarse así: ‘ $B(\iota x)Ax$ ’. Según B. Russell, el análisis correcto de “Está quemándose el nuevo amperímetro”, o sea, de ‘ $B(\iota x)Ax$ ’, es “Existe un individuo tal que es un nuevo amperímetro y está quemándose y, si algo es un nuevo amperímetro, entonces ese algo es dicho individuo”. Breve y simbólicamente:

$$B(\iota x)Ax \leftrightarrow (\exists x) [Ax \& Bx \& (\forall y) (Ay \rightarrow y = x)]$$

Cf. I. Copi, *Symbolic Logic*. Nueva York, Macmillan, 1954, p. 156. De ese modo, dado un enunciado como “Al jefe del Olimpo le gustaban las chicas”, no nos vemos obligados a introducir un objeto ideal –el objeto ideal aparentemente denotado por ‘el jefe del Olimpo’–, pues no existe tal objeto (‘Zeus’ no nombra nada). Pero, por otro lado y según ese análisis, un dato en el cual aparezca una descripción determinada no tiene la forma de un enunciado atómico (inanalizable), puesto que contiene un cuantificador universal. Y esta consecuencia es incompatible hasta con el más suave empirismo, porque resulta que analiza ciertos conceptos singulares en conceptos universales, en vez de al revés. Examinar al respecto las siguientes propuestas: (i) Establecer la regla de que los datos no deben contener descripciones determinadas, sino nombres propios; pero calcú-

lense las consecuencias de esta solución. (ii) Declarar que el análisis russelliano es irrelevante, o sea, sostener que su análisis lógico no debe tenerse en cuenta en epistemología, o que no hay por qué aplicarlo en la ciencia; pero, entonces, dar una razón que justifique esta solución. (iii) Reemplazar el análisis russelliano de la descripción determinada por este otro:

$$[a = (\exists x)Fx] =_{df} Fa \in (x) (Fx \rightarrow x = a)$$

Cf. M. Bunge, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

12.5. FUNCIONES

La mayoría de los constructores de sistemas metafísicos, desde Platón y Aristóteles, pasando por Descartes y Leibniz, hasta Hegel y Hartmann, han pretendido que tenían un conocimiento *a priori* de la realidad, o sea que poseían un conocimiento factual independiente de la experiencia controlada. Esos autores dejaron siempre a la ciencia la pesada tarea de averiguar los detalles de ese conocimiento, pero sostenían, sin prueba alguna, que la esencia del mismo era asequible mediante una especial intuición (intuicionismo) o por la mera razón (racionalismo), y, en cualquier caso, sin la ayuda de la extrospección y el experimento. Esos sistemas han fracasado de un modo definitivo: no se trata sólo de que no aportaran verdad factual sino, además, de que, por su mal planteamiento de los problemas, los métodos y los objetivos, no podían nunca colocarse en el lugar de la ciencia, que es teórica y empírica siempre y a la vez.

El fracaso del apriorismo ha sido siempre un estímulo para el aposteriorismo, o sea para la gnoseología empirista según la cual la sola experiencia y, en particular, la experiencia orientada por fines y controlada, puede suministrar conocimiento factual. Los filósofos empiristas del pasado se han esforzado eficazmente por difundir la idea de que la recolección y la sistematización de datos son fines en sí mismos. Pero hemos visto en varios lugares que ésa es una imagen de la protociencia, no de la ciencia, de tal modo que el puro aposteriorismo es una filosofía de la ciencia tan falsa como el puro apriorismo.

*El aposteriorismo se expresa a veces diciendo que, en última instancia, el conocimiento factual se condensa en *descripciones de estado*, cada una de las cuales es un conjunto de proposiciones singulares que describen, agotándolo, el estado de una parte finita del cosmos, o, más bien, del universo de la experiencia. El examen de un ejemplo nos mostrará la dimensión precisa de esa idea. Imaginemos un universo que consista simplemente en tres cosas sin estructuras que puedan disponerse linealmente en un espacio no métrico, de tal modo que lo único interesante sean sus posiciones respectivas. Hay $1.2.3. = 3! = 6$ modos en los cuales disponer los constituyentes de nuestro microuniverso. Cada uno de esos estados posibles de nuestro universo imaginario puede describirse por un enunciado del tipo "La cosa 1 está en n , la cosa 2 en p , la cosa 3 en q ". A su vez, cada una de esas descripciones de estados posibles de nuestro microuniverso se compone de tres proposiciones. Si adoptamos números para identificar posiciones, podemos escribir esquemáticamente esas proposiciones atómicas en la forma "La cosa m está en n ", siendo

m y n números (ordinales). Aún más brevemente: hagamos que ' P_{mn} ' designe el enunciado "La cosa m está en n ". Con esta notación, el estado 231 podría describirse mediante la conjunción " $P_{21} \& P_{32} \& P_{13}$ ". Hay en total $3^2 = 9$ proposiciones de esa clase. Para N objetos diferentes habrá N^2 proposiciones atómicas por medio de las cuales pueden formarse $1.2.3.N = N!$ proposiciones complejas, cada una de las cuales describa un estado. Estas N^2 proposiciones atómicas pueden disponerse en una tabla cuadrada o matriz que recoja todos los elementos informativos posibles respecto del universo ficticio, la matriz $[P_{mn}]$, tabla a la que puede darse el pomposo nombre de *matriz de estado universal*.

Pero todo eso carece de interés práctico y teórico. Carece de interés práctico porque la tarea de llevar a cabo una descripción total de alguna parte del mundo no tiene perspectiva alguna. Baste con recordar que sólo para 10 cosas simples (sin estructura) que puedan disponerse linealmente el número de estados posibles es $10! = 3.628.800$. Además, es imposible obtener un elemento de interés en una descripción de estado actual o posible sin contar con algunas teorías, porque la mayoría de los hechos no son observables más que indirectamente (cf. secs. 12.2 y 12.3). Si el objeto de interés resulta ser atómico o subatómico, entonces el valor de la observación (indirecta) es incluso menor, porque no hay masa de información empírica que baste para determinar unívocamente el estado de tal sistema: de hecho, no hay más que una relación de probabilidad entre cualquier estado y cualquier conjunto dado de valores (indirectamente) observables de las micropropiedades (por ejemplo, el momento) del sistema. A la inversa, si se "conoce" el estado de un sistema (o sea, si ese estado se toma como supuesto), y se "observa" efectivamente varias veces cualquier propiedad P del sistema, entonces todo lo que podemos inferir es (i) que cualquier elemento de un determinado conjunto infinito de valores de P puede presentarse como dato, y (ii) cualquiera de esos valores se presentará con una determinada probabilidad que, si el supuesto es verdadero, no discrepará mucho de la frecuencia fáctica observada. Dicho brevemente: en el caso de los sistemas atómicos no hay conjunto de observaciones que baste para determinar unívocamente una descripción de estado, descripciones que se formulan (en este caso) en lenguaje teórico, no empírico. Baste eso sobre la imposibilidad de conseguir un inventario total del universo. Por lo que hace a la falta de interés teórico de la empresa, ella se manifiesta claramente en cuanto se considera que ni siquiera de una matriz de estado completa podría inferirse nada, pues una tal matriz tampoco pasaría de ser un compendio de informaciones laxas y sueltas. La ciencia aspira a *leyes* y a *sistemas de leyes* (teorías), no a colecciones de piezas de información sueltas. (Un conjunto de relaciones entre los varios elementos, P_{mn} , de la matriz de estado universal, o un conjunto de enunciados sobre su evolución en el tiempo, constituirían una teoría: pero ésa es precisamente la fiera que quería evitar el empirismo con su planteamiento mediante descripciones de estado.) La insistencia en las descripciones de estado no es más que un resto del estadio preteórico de la ciencia, de cuando el objetivo de la investigación parecía ser la acumulación de observaciones que no resolvían problemas ni se explicaban por teorías. Esa filosofía de tendero ha quedado repasada hasta en la ciencia de las decisiones y el comportamiento, en la que ya se construyen hoy teorías matemáticas.*

Podemos llamar *datismo* a la creencia en que toda pieza de conocimiento científico es un conjunto de datos. El datismo se parece al *dadaísmo*, la doctrina según la cual las

teorías tienen que ser las sistematizaciones más sencillas (más económicas) de los datos: si no hay más conocimiento que el empírico y éste consiste en un conjunto de datos, entonces es absurdo organizar esos datos de modo complejo. El datismo y el dadaísmo son el núcleo del empirismo estricto, filosofía incongruentemente profesada por numerosos teóricos y subyacente a muchos planes de investigación. Esa filosofía anima a la ciega acumulación de información superficial, lo cual no lleva a ninguna parte porque no arranca de ningún fecundo punto de partida y, además, se produce en un vacío de ideas. Esta clase de laborioso tanteo en las tinieblas queda ejemplificada del mejor modo por aquel profesor que alimentaba a sus perros con todo lo que encontraba en la tienda, sin despreciar los detergentes de diversas complicaciones, y luego medía cuidadosamente el volumen de jugo gástrico que recogía mediante fistulas practicadas en el estómago de los animales. Un trabajo sin objetivos como es ése puede consumir tanta energía humana y tanto instrumental como una auténtica pieza de investigación desencadenada por un problema de verdadero interés suscitado en el marco de un cuerpo de ideas y destinado a someter a prueba algunas de ellas. Puede incluso ser un fraude costoso y, cosa aún más condenable, puede desorientar a innumerables hombres de talento haciéndoles creer que la investigación científica consiste en observar lo que sea por el mero gusto de observar, y no en preguntar, pensar y poner a prueba empírica y teóricamente lo pensado para descubrir estructuras generales. Ninguna filosofía idealista, por extremada que sea, puede frenar el progreso científico tan radicalmente como esa línea de investigación sin ideas que se considera científica simplemente porque, según la dominante filosofía de la ciencia, los hechos cuidadosamente registrados son todo lo que importa y las ideas científicas no son más que sumarios de hechos o cómodos instrumentos para establecer vínculos entre hechos. Lo que se ahorra absteniéndose de teorizar y de elaborar una teoría de la ciencia concorde con la investigación progresada se pierde muchas veces en forma de investigación ciega.

El datismo y el dadaísmo se encuentran también tras la preferencia por lo que se llama ciencia en grande, que consiste en enormes proyectos que utilizan grandes masas de trabajadores e instrumentales científicos y aspiran a conseguir montañas de datos. No hay duda de que esa ciencia “al por mayor” (o sea, de mucho gasto) es necesaria y hasta admirable: ¿quién puede no admirar esas amplias y disciplinadas masas de investigadores que recogen y elaboran laboriosa y pacientemente miles de millones de datos, con la esperanza de que algún teórico podrá entenderlos alguna vez? La ciencia “al por mayor”, *big science*, es necesaria siempre que no anule la ciencia “al detall” la cual suministra a la otra problemas y teorías, y a la cual hay que suministrar, a la inversa, los datos para que lleguen algún día a tener sentido. La “ciencia al por mayor” es ciencia menor comparada con la ciencia “al detall” y, por tanto, sería mortal que la ciencia “al por mayor” terminara por eliminar a su madre y maestra. Para evitar esa catástrofe es necesario elaborar una filosofía de la ciencia que no caiga en ninguno de los dos extremos del apriorismo y aposteriorismo, y que ponga las operaciones y los registros de observación en el lugar que merecen.

Un empirista contemporáneo admitirá sin duda que la observación no es la única tarea de la ciencia, pero seguirá sosteniendo que toda la ciencia *se basa* de un modo u otro en datos sensibles o información perceptual recogida mediante la observación, la medi-

ción y el experimento. Puede además sostener que esa base perceptual es inmovible, por lo que merece realmente el nombre de *base*. Está, en efecto, muy difundida la opinión de que los datos sensibles son básicos en sentido psicológico y en sentido lógico, o sea, que son efectivamente anteriores a las ideas y que todas las construcciones (conceptos teóricos, hipótesis y teorías) se destilan de un modo u otro de la observación. Pero esa opinión es errónea, tanto desde el punto de vista psicológico cuanto desde el punto de vista lógico. En primer lugar, los datos de los sentidos van frecuentemente precedidos por expectativas nacidas de creencias más o menos vagas; aún más: lo que posibilita los datos sensibles como tales datos es una actitud expectante y alerta, sobre todo en el caso de la experiencia. En segundo lugar, los datos sensibles de los científicos son en sí mismos irrelevantes para la ciencia: la observación y el experimento científicos son en sí mismos irrelevantes para la ciencia: la observación y el experimento científicos no recogen datos sensibles, sino datos objetivos y controlables formulados en un lenguaje impersonal. En tercer lugar, ningún dato es objeto de búsqueda, y aún menos de uso, fuera de algún cuerpo de conocimiento: no hay datos científicos espontáneamente dados, ni colecciones espontáneas de datos puros sobre los cuales pueda fundarse una ciencia nueva aislada del conocimiento anterior. En cuarto lugar, las construcciones teóricas se inventan o crean, no se destilan (no se inducen) a partir de datos sensibles, precisamente porque rebasan los datos. En quinto lugar, sólo la teoría puede convertir ciertos datos en evidencias relativas a objetos inobservables. En resolución: los datos de los sentidos no son fundamentación psicológica ni lógica de la ciencia. Aún más: no existe ninguna fundamentación de la ciencia que sea absoluta e incorregible; por tanto, todos los fundamentalismos deben rechazarse en metaciencia.

Como a menudo ocurre con los extremos, el apriorismo metafísico y el aposteriorismo positivista ignoran cada uno un lado de la moneda: el conocimiento científico ha sido siempre resultado de la interacción de la razón con la experiencia. En particular, la observación, el tipo más simple de experiencia científica, no es ni más ni menos que una componente de la investigación científica. En efecto, las funciones de observación en la ciencia factual son: (i) suministrar información, (ii) producir problemas sobre los datos, y (iii) contrastar hipótesis concebidas para resolver dichos problemas. Ninguna de esas funciones es una finalidad por sí misma: el desideratum último es el descubrimiento de estructuras, y éstas se representan por teorías que la observación puede contribuir a contrastar. La observación es, pues, insuficiente: si necesitamos un conocimiento factual profundo y preciso, tenemos que pasar a la medición y al experimento siempre que ello sea posible. Pero esto merece capítulos aparte.

Problemas

12.5.1. El astrofísico A. Eddington sostenía, siguiendo a Kant, que poseía un conocimiento a priori del mundo físico, un conocimiento derivado puramente de principios epistemológicos. Examinar esa pretensión y el programa subsiguiente. Cf. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1939. Luego estudiar la crítica de L. S. Stebbing, *Philosophy and the Physicist*, Londres, Methuen, 1937, y de M. Born, *Experiment and Theory in*

Physics, Londres, Cambridge University Press, 1944. Por último, discutir si pueden tener éxito intentos apriorísticos como el presentado por Eddington.

12.5.2. El hombre había observado flores durante un millón de años antes de sospechar (1694) que eran los órganos sexuales de las plantas; por si eso fuera poco, los sumerios practicaron hace cinco mil años la polinización artificial en gran escala. ¿Por qué no consiguieron ni la observación ni la acción dar nacimiento a la botánica?

12.5.3. Frecuentemente se han producido descubrimientos por suerte o casualidad. Se encontrará una narración cautivadora en R. Taton, *Reason and Chance in Scientific Discovery*, Nueva York, Philosophical Library, 1957. Pero L. Pasteur decía que la suerte no puede enseñar algo sino a inteligencias preparadas. ¿Preparadas por qué cosa?

12.5.4. El físico atómico y el psicólogo, ¿conocen sus objetos por medio de los sentidos? Asegurarse de que se distingue entre los referentes de sus ideas y la evidencia relevante para las mismas.

12.5.5. La física de salón se puso de moda hacia mediados del siglo XVIII y siguió estándolo hasta fines del XIX. Las exhibiciones más gustadas eran las de fenómenos eléctricos y magnéticos, hechas más para entretener que para instruir: esos procedimientos no dieron de sí ninguna ciencia de la electricidad y el magnetismo. Análogamente se han hecho innumerables observaciones de salón sobre fenómenos hipnóticos, las cuales no han dado nada para el conocimiento de la hipnosis. ¿A qué se debe tal esterilidad de observaciones cuidadosas? *Problema en lugar de ése*: En 1776, M. van Marum observó que las descargas eléctricas imantaban piezas de hierro, pero no llegó a interpretar el hecho como una interacción entre la electricidad y el magnetismo; sus observaciones se olvidaron. En 1887, H. Hertz observó lo que hoy llamamos efecto fotoeléctrico, pero no llegó a interpretarlo como extracción de electrones por el impacto de la luz: eso hace que no suela atribuírsele el descubrimiento del efecto fotoeléctrico. Inferir de ese hecho alguna enseñanza.

12.5.6. Estimar (i) el conocimiento relativo a hechos aislados y (ii) el conocimiento de generalizaciones aisladas. Sobre el primero, cf. H. Helmholtz, *Popular Scientific Lectures*, Londres, Longman, Green and Co., 1873, p. 369. Sobre el segundo, Schrodinger, *Science: Theory and Man*, Nueva York, Dover Publications, 1957, p. 93.

12.5.7. Comentar la segunda de las siguientes frases tomadas de B. Schultzer, *Observation and Protocol Statement*, Copenhage, Munksgard, 1938: (i) "Proponemos entender por proposición de protocolo una proposición que, sobre la base de una observación dada, atribuye algunas características a lo observado en esa observación" (p. 5). (ii) "Una proposición de protocolo es válida si su formulación en un determinado lenguaje de protocolo está determinada sin ambigüedad por lo observado (junto con un sistema de referencia aceptado y una tolerancia de imprecisión también aceptada)" (p. 9). ¿Se justifican por la mera observación los informes observacionales? ¿Existe un lenguaje de protocolo (neutral y observacional), o sea, un lenguaje no "contaminado" por hipótesis y teorías? Si no existe, ¿sería posible construirlo? Y si fuera posible, ¿valdría la pena, si no para fines científicos al menos para hacer películas sobre el Australopithecus? *Problema en lugar de ése*: Comentar la siguiente frase, tomada de una revista de biología: "El gran poder resolutivo del microscopio electrónico, junto con las técnicas bioquímicas, acabará por revelar el (o los) papel(es) preciso(s) de los mitocondrios". ¿Puede imaginarse alguna función biológica que haya sido "descubierta" por la mera observación? Recuérdese que el mecanismo de la reproducción fue un misterio hasta el siglo XVIII, y que la función de órganos de gran tamaño incluso, como el páncreas y el timo, no se ha descubierto hasta hace poco.

12.5.8. Comentar los siguientes textos: (i) J. Tyndall, *Fragments of Science*, 5a. ed., Nueva York, Appleton, 1880, pp. 425-426: Puede que no seamos capaces de rebasar la experiencia, pero "en todo caso podemos llevarla muy lejos de su origen [...] Impelidos por los fenómenos sensibles, nos vemos dotados de la capacidad de formar imágenes mentales de lo ultrasensible; y me-

diente esa capacidad, debidamente disciplinada y controlada, podemos iluminar la oscuridad que rodea el mundo de los sentidos". (ii) H. Hertz, *The Principles of Mechanics*, 1894, Nueva York. Dover Publications, 1956, p. 25: "Si intentamos entender los movimientos de los cuerpos que nos rodean y referirlos a reglas simples y claras sin prestar atención más que a lo directamente observable, fracasaremos por lo general en el intento. Pronto nos damos cuenta de que la totalidad de las cosas visibles y tangibles no forma un universo sometible a la ley y en el cual los mismos resultados se sigan siempre de las mismas condiciones. Pronto nos convencemos de que la multiplicidad del universo actual tiene que ser mayor que la multiplicidad del universo directamente revelado por los sentidos. Si deseamos obtener una imagen del universo que sea redondeada, completa y sometible a la ley, tenemos que presuponer, por detrás de las cosas que vemos, otras cosas invisibles, o sea, por así decirlo, imaginar unos ocultos socios más allá de los límites de nuestros sentidos."

12.5.9. ¿Es la observación la fuente de todo conocimiento, o más bien una fuente de conocimiento descriptivo y una contrastación de hipótesis y teorías? *Problema en lugar de ése*: Discutir el trabajo de W. V. O. Quine "Posits and Reality", en S. Uyeda, *Basis of the Contemporary Philosophy*, Tokyo, Waseda University, 1960, vol. V.

12.5.10. Tomás de Aquino, siguiendo a Aristóteles, sostenía que las impresiones sensibles son necesarias, aunque no suficientes, para adquirir un conocimiento intelectual de los cuerpos: el intelecto suministra los universales, sin los cuales no puede haber tal conocimiento. Cf. *Summa Theologica*, q. LXXXIV, arts. 6 y 8, y q. LXXXV, art. 1, y *Summa contra gentiles*, libro I, cap. XII. Primera pregunta: ¿Por qué se presenta tan frecuentemente el aristotelismo y el tomismo como apriorismo? Segunda pregunta: ¿Por qué se dice tan frecuentemente que sólo la filosofía moderna ha apreciado la importancia de la experiencia sensible para el conocimiento? Pregunta tercera: ¿Qué doctrina es más afín a la ciencia: el apriorismo cartesiano, el aposteriorismo baconiano o el aristotelismo?

BIBLIOGRAFÍA

- Ayer, A. J., *The Problem of Knowledge*, Londres, Penguin Books, 1956, cap. 3.
- Blanshard, B., *The Nature of Thought*, Londres, Allen & Unwin, Nueva York, MacMillan, 1939, 2 vols., especialmente el libro I.
- Bunge, M., *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, especialmente los caps., 5, 6 y 8.
- , *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.
- , *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.
- , *Exploring the World*, Dordrecht, Reidel, 1983.
- Daedalus*, 87, núm. 9, 1954, número "On Evidence and Inference", especialmente el artículo de M. Deutsch "Evidence and Inference in Nuclear Research", y el trabajo de P. F. Lazarsfeld "Evidence and Inference in Social Research".
- Frank, P., *The Validation of Scientific Theories*, Boston, The Beacon Press, 1958.
- Hanson, N. R., *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge University Press, 1958, caps. I y II.
- Körner, S. (ed.), *Observation and Interpretation*, Londres, Butterworth Scientific Publications, 1957, Nueva York, Dover, 1962.

- Lenzen, V. F., *Procedures of Empirical Science*, vol. 1, núm. 5 de la *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1938.
- Lewis, C. I., *An Analysis of Knowledge and Valuation*, La Salle, Ill., Open Court, 1946.
- Russell, B., *An Inquiry into Meaning and Truth*, Londres, Allen & Unwin, 1940 especialmente los caps. XXI y XXII. Traducción castellana, *Investigación sobre el significado y la verdad*, Buenos Aires, 1946.
- Waissmann, F., "Verifiability", en A. Flew (ed.), *Logic and Language*, Oxford, Blackwell, 1951, vol. 1.

13. MEDICIÓN

Lo que puede observarse directa o indirectamente son algunos rasgos de alguna cosa concreta. Para ser precisa, la observación tiene que ser cuantitativa, porque los objetos concretos tienen propiedades cuantitativas, aunque no sea más que porque existen en determinadas cantidades y en el espacio-tiempo. La observación cuantitativa es la medición. Siempre que se atribuyen números a ciertos rasgos sobre la base de la observación se están practicando mediciones. Hay tantas clases de medición como clases de propiedades y técnicas de medición. En lo esencial, podemos contar, comparar, o medir en sentido estricto. Para decidir qué clase de medición es la que hay que practicar en cada caso es necesario llevar a cabo un análisis del concepto que denote la propiedad correspondiente. Según eso, hay que analizar la naturaleza de la cuantificación para poder entender los rasgos de la medición.

13.1. CUANTIFICACIÓN NUMÉRICA

Llamaremos cuantificación numérica a cualquier procedimiento por el cual ciertos conceptos se asocien con variables numéricas. Así, por ejemplo, el volumen es bulto cuantificado, la probabilidad puede interpretarse como posibilidad cuantificada y la probabilidad de éxito es la efectividad cuantificada. Puesto que hay varias clases de conceptos es presumible que encontraremos varias clases de cuantificación.

Recordemos la clasificación de conceptos dada en la sec. 2.2 (cf. tabla 2.6). Distinguimos cuatro géneros de conceptos: individuales, de clase, relacionales y cuantitativos. Los conceptos individuales, esto es, los conceptos cuyos referentes son individuos, son claramente no-cuantitativos (cualitativos), a menos que consistan en individuos numéricos, o sea, en números. (Pero los números se pueden considerar como clases de clases, no como individuos primarios.) Sin duda pueden atribuirse *cifras* (nombres de números) a los individuos, en vez de nombres corrientes, como ocurre con los presos. Pero ese uso *nominal* de los números es puramente convencional y no tiene significación teórica: en realidad, en este caso pueden perfectamente sustituirse las cifras por números de otra clase.

También los conceptos de clases son cualitativos. Y también a ellos pueden atribuirse números de un modo convencional. En efecto, un concepto de clase como “hombre” da origen al predicado “es un hombre”, el cual puede a su vez ser verdadero o falso de cualquier individuo dado. Si un determinado individuo, llamado *c*, es efectivamente un hombre, entonces podemos simbolizar el hecho escribiendo la cifra ‘1’; si *c* no es un hombre podemos escribir ‘0’. O sea: podemos considerar que los conceptos de clases producen predicados dicotómicos, esto es, predicados que pueden tomar uno de dos valores, presencia o ausencia de la propiedad correspondiente. Esta atribución de números es tam-

bién convencional: podríamos perfectamente haber elegido el par $(-17, 3)$.

*Hay otro modo de atribuir números a conceptos de clases. Sea G un género compuesto de dos especies, E_1 y E_2 . También podemos concebir a G como un conjunto de estados que consta de dos estados posibles, E_1 y E_2 (por ejemplo, abierto y cerrado en el caso de puertas o de interruptores eléctricos). En cualquier caso, sean E_1 y E_2 subconjuntos no solapados de G . Dado un individuo x , hay dos posibilidades: o bien x está en G o bien x no está en G . No nos interesa más que el primer caso; si x está en G (es miembro de G), entonces está en E_1 o en E_2 . He aquí una útil representación de esas dos posibilidades. (i) Si x está en E_1 describimos el estado de x por medio de la columna

$$\psi_1(x) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(ii) Si x está en E_2 , describimos el estado de x por medio de

$$\psi_2(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

(iii) Si lo único que sabemos acerca de x es que está en G , pero ignoramos si está en E_1 o en E_2 , podemos escribir:

$$\psi(x) = c_1 \psi_1(x) + c_2 \psi_2(x),$$

expresión en la cual c_1 y c_2 son funciones determinadas que pueden relacionarse, por ejemplo, con las probabilidades respectivas de que x esté en E_1 o en E_2 . Esta asociación de conceptos de clases con números y funciones numéricas es muy importante en las teorías cuánticas; no hay razón alguna para no utilizarla en otras ciencias, especialmente en biología.*

El modo más corriente de atribuir números a clases consiste en determinar el número de elementos de una clase. La numerosidad o *cardinalidad* de un conjunto C es una función de conjuntos—que simbolizaremos por ‘*Card*’—la cual proyecta C sobre el conjunto N de los números naturales (enteros positivos). Brevemente: $\text{Card}(C) = n$, siendo n un miembro de N . Si los elementos del conjunto son factuales (por ejemplo, planetas) el functor entero es un número concreto (por ejemplo, “9 planetas”); en este caso la cardinalidad es una propiedad *física*, y el cálculo de la cardinalidad puede no coincidir con la aritmética de los números naturales. Dicho de otro modo: en el caso de los conjuntos factuales, el cálculo de la cardinalidad dependerá de la naturaleza de los conjuntos y de los concretos procesos u operaciones correspondientes a las aritméticas. Sean C_1 y C_2 dos conjuntos de bolas o fichas, y designe ‘+’ el proceso físico (o la operación empírica) que consiste en reunir o yuxtaponer las dos colecciones. Entonces $\text{Card}(C_1 + C_2) = \text{Card}(C_1) + \text{Card}(C_2) = n_1 + n_2$; o sea: la adición aritmética es la proyección de la adición física. Pero si la adición física de los dos conjuntos se produce por una colisión de alta energía, el resultante conjunto de cuerpos puede ser más numeroso que eso, es decir, $\text{Card}(C_1 + C_2) > n_1 + n_2$, de tal modo que la adición aritmética dejará de reflejar la adición física. El filósofo que ignora esas diferencias entre la suma física y la matemática acaba planteándose la pregunta kantiana: ‘¿Cómo son posibles los juicios sintéticos *a priori*?’

La cardinalidad de un conjunto empírico es un número entero finito. Pero la ciencia no se limita a considerar conjuntos empíricos, de todos los cuales se supone que son subconjuntos de conjuntos factuales. Y un conjunto factual puede ser infinito, como lo es el conjunto (actual) de los puntos de un campo de fuerza, o el conjunto (potencial) de los niveles de energía de un átomo. (El conjunto de los estados estables de un átomo es numerablemente infinito, pero un átomo puede encontrarse también en cualquiera de los estados de un conjunto continuo de estados inestables.) Desde un punto de vista matemático la distinción importante no es la que media entre conjuntos finitos e infinitos, sino la que existe entre conjuntos numerables, o contables, sean finitos o infinitos, y conjuntos no numerables, o continuos. Pero desde un punto de vista metodológico la distinción es entre conjuntos finitos y conjuntos infinitos, puesto que los primeros pueden en principio ser examinados totalmente (lo que no quiere decir conocidos totalmente), mientras que, puestos ante una población infinita, no podemos sino obtener muestras de ella, sin garantía de que la muestra vaya a ser representativa del total.

El concepto de cardinalidad de un conjunto abre la puerta a la matemática cuantitativa y, por tanto, a la cuantificación de conceptos más complejos. Consideremos el concepto psicológico de independencia de juicio respecto de la presión del grupo. Un indicador objetivo de independencia es la corrección de las apreciaciones de cuestiones de hecho (por ejemplo, de las estimaciones de longitud) frente a las opiniones contrarias dominantes en el grupo. Este indicador puede cuantificarse fácilmente como sigue. Sea U el conjunto básico de estimaciones de un determinado estado o situación factual, hechas por un individuo o un grupo bajo cierta presión social (el prejuicio, una información deliberadamente falsa, etc.). Ese conjunto puede dividirse en el conjunto C de las estimaciones correctas y su complemento, $\bar{C}$, las estimaciones incorrectas: $U = C \cup \bar{C}$. Podemos medir el grado de independencia por la fracción de estimaciones correctas en situaciones en las cuales actúan factores sociales que inducen a error. Dicho de otro modo: podemos introducir el concepto cuantitativo de independencia de juicio, $I(x)$, de una unidad social (persona o grupo) poniendo que su variable numérica, y , es igual a la razón de la cardinalidad del conjunto de las estimaciones correctas a la cardinalidad del conjunto total de estimaciones:

$$I(x) = y = \frac{Card(C)}{Card(C \cup \bar{C})}$$

(S. E. Asch ha obtenido valores del orden de 0,43 en situaciones bajo control experimental.)

Hemos examinado tres modos diferentes de atribuir números, y hasta funciones, a clases (o conceptos de clases), o sea, tres clases diferentes de cuantificar cualidades, una de las cuales es nominal o convencional. Analicemos ahora la cuantificación de conceptos relacionales, que en la tabla 2.6 se dividieron en conceptos comparativos y conceptos no-comparativos. Subdividimos a su vez los conceptos comparativos en relaciones propiamente dichas, como “perteneciente a”, y operadores, como “+”. Es claro que los conceptos no-comparativos no pueden cuantificarse más que de modo nominal (convencional). Efectivamente, por lo que hace a una relación del tipo de “es la madre de” o “ejerce influencia sobre” podemos simplemente decir que vale o no vale entre dos entidades da-

das. Si vale, podemos convenir en escribir '1', si no vale, '0'. Análogamente para operadores como "+" y "÷". Para cada una de esas relaciones diádicas podemos, pues, construir una tabla o matriz $R = [r_{ij}]$ cuyos elementos r_{ij} representan la satisfacción o insatisfacción de la relación dada por el par (i, j) . Si R vale entre i y j , escribimos $r_{ij} = 1$, y si no, $r_{ij} = 0$. Matrices de esa clase se usan en sociología. Una asignación de números practicada de ese modo tiene significación meramente pragmática: es prácticamente conveniente utilizar las cifras '1' y '0', pero su función no rebasa la del signo usado para puntuar datos o cuentas, '✓'. Sólo conceptos comparativos, como "más alto que", pueden someterse a cuantificación no-nominal.

Conceptos *comparativos* son aquellos por medio de los cuales pueden ordenarse conjuntos; o también, cosa que equivale a lo anterior, aquellos conceptos por medio de los cuales pueden jerarquizarse los elementos de un conjunto. La relación de ser más duro que realiza esa función respecto de cuerpos; por tanto, "más duro" es un concepto comparativo en el conjunto de los cuerpos. Dicho más detalladamente: dado un conjunto C de cuerpos, podemos ordenarlos de acuerdo con su dureza; o sea, la relación de dureza es conexa en el conjunto de los cuerpos, pero no en el de las ondas ni en el de los sentimientos.

Además, la relación es asimétrica: si x es más duro que y , entonces y no es más duro que x . En segundo lugar, la relación es irreflexiva: no vale para un solo cuerpo. En tercer lugar, la relación es transitiva: si x es más duro que y y y es más duro que z , entonces x es más duro que z . Como puede hallarse cierto número de cuerpos de igual dureza, la relación no establece un orden lineal estricto; más bien ordena subconjuntos de cuerpos. Dicho de otro modo: dados dos cuerpos cualesquiera, x e y , es falsa la afirmación de que $x > y$ (con el sentido de "x es más duro que y") o $x < y$ ("x es más blando que y"). Puede ocurrir que $x = y$ ("es tan duro como y"). Dicho pragmáticamente: si del conjunto de los cuerpos se toman al azar dos, x e y , la relación que se verá empíricamente satisfecha entre ellos es la relación, más débil que la anterior, $\geq$. Esta relación se da entre cuerpos individuales y produce un orden débil.

Podemos examinar este asunto del siguiente modo. Arrancamos de la clase o concepto cualitativo "duro", o "brillante", como se prefiera. Entonces es asunto convencional la cuestión de dónde establecemos la divisoria entre cuerpos duros y cuerpos no-duros (blandos). Dicho de otro modo, podemos asociar nominalmente una cifra, '1' por ejemplo, a ciertos cuerpos, los que incluyamos en el conjunto de los cuerpos duros, y la cifra '0' a los que excluyamos de ese conjunto. Puede practicarse una división más fina de los cuerpos desde el punto de vista de su dureza construyendo el concepto comparativo "más duro" a partir del concepto de clase "duro": además, el conjunto puede disponerse entonces como en cadena. Por último, podemos atribuir convencionalmente una cifra a cada eslabón de la cadena. Podemos, en efecto, convenir en asociar la cifra '1' al menos duro de todos los cuerpos conocidos, '10' al más duro de ellos y las cifras intermedias a otras clases de cuerpos. Ninguna de esas cifras será, desde luego, significativa por sí misma: habrían podido escogerse otras cifras, letras o signos *ad hoc*, y se habría podido invertir su orden: por eso no decimos que los *números* miden la dureza, sino que hablamos de *cifras* (que son signos). Todo lo que indican esas cifras es el lugar relativo de una entidad en una ordenación simple. Consiguientemente, del hecho de que el cuerpo a tenga atribuida la dureza 6 y el cuerpo b la dureza 2 no podemos inferir que el cuerpo a sea tres veces

más duro que el cuerpo *b*: pues *las cifras no se dividen*, del mismo modo que no se dividen los nombres. Para evitar equívocos en este punto es conveniente escribir '*n**' para designar la cifra o marca correspondiente al número *n*. Lo dicho no implica que la dureza sea propiedad *intrínsecamente* no cuantitativa, como tantas veces se dice: en realidad se han construido conceptos cuantitativos de dureza en la teoría de los metales; el concepto comparativo de dureza, tratado hasta ahora, es peculiar del planteamiento empírico.

La atribución de números a conceptos comparativos (de orden) es puramente nominal o convencional a menos que se ponga subyacente al concepto comparativo un concepto cuantitativo. Tomemos, por ejemplo, la altura. Psicológicamente partimos del concepto de clase "alto"; sobre la base de ese concepto introducimos luego el concepto comparativo "más alto"; por último, construimos el concepto cuantitativo "altura". Una vez obtenido este último, volvemos al concepto comparativo y lo cuantificamos. Podemos, en efecto, comparar los números (no las cifras) que expresan alturas diferentes y decir, por ejemplo, 'El macizo del Himalaya es dos veces más alto que los Alpes', lo cual es matemáticamente correcto, porque ahora estamos comparando números. La introducción de conceptos cuantitativos es, pues, lógicamente anterior a la cuantificación de conceptos comparativos.

Un predicado métrico (functor numérico, cantidad o magnitud) designa una propiedad cuantitativa. Una magnitud, como la longitud o la intensidad de estímulo, es un concepto complejo que puede analizarse distinguiendo en él la(s) variable(s) de objeto, la(s) variable(s) numérica(s) y una función de la(s) primera(s) a la(s) segunda(s). (Recuérdese la sec. 2.3). Las variables de objeto designan las entidades de las cuales la magnitud en cuestión predica una propiedad, y las variables numéricas designan los números asociados a esa propiedad. Tomemos, por ejemplo, el concepto de longitud, que puede analizarse así: $L(x, u) = y$, lo cual se lee 'la longitud de *x* es igual a *y* unidades de longitud'. La variable de objeto *x* de este concepto tiene como campo de variabilidad el conjunto de los cuerpos, y generalmente no se menciona: en la ciencia factual se toma como dado que las longitudes lo son de cosas, no de esperanzas ni longitudes en sí mismas, por ejemplo. (En otro concepto podemos atribuir a 'longitud' una significación diferente, aun manteniendo la indicada estructura lógica. Así, podemos introducir el concepto de longitud de una idea conviniendo en caracterizarla, por ejemplo, como el número de símbolos que se presentan en su simbolización lógica con la ayuda de algún cálculo.) Y la variable numérica puede tomar en este caso cualquier valor real del intervalo $[0, \infty]$; en otros casos las variables numéricas pueden tomar valores negativos o hasta complejos en una gran variedad de campos. En cualquier caso, la cuantificación no elimina los objetos físicos: al practicarla no sustituimos cosas por números, sino que asociamos números a conceptos que representan propiedades de cosas.

Si se toman para medición dos o más objetos, puede ser que intervengan en la magnitud más de una variable de objeto. Por ejemplo, si se yuxtaponen por sus extremos dos varillas, *x* e *y*, se produce un tercer objeto *z* del que puede decirse que es la *suma* (o unión) *física* de *x* e *y*. Denotaremos la adición física por '+', para distinguirla de la correspondiente operación aritmética: la primera se refiere a cuerpos, la segunda a números. Si nos preguntamos ahora cuál es la longitud $L(x + y)$ de la varilla compuesta $z = x + y$, la respuesta será: el valor numérico de la longitud total es igual a la suma de las longitudes parciales, o sea:

$$L(x + y) = L(x) + L(y) \quad [13.1]$$

con independencia de la escala y la unidad de longitud.

Esa fórmula es sintética (no lógica), porque pueden concebirse universos en los cuales las longitudes no se sumen de ese modo tan sencillo, o sea, universos en los cuales la longitud no sea una medida aditiva. (Además, los valores *medidos* de $L(x)$ y $L(y)$ no son estrictamente aditivos: en algunos casos las dos operaciones pueden incluir un error mayor que la operación de medir la longitud total, y en otros casos un error menor que el de ésta.) En última instancia lo que nos interesa no son cantidades matemáticas, como las distancias de una geometría métrica, sino una propiedad física. Supongamos ahora que consideramos dos regiones contiguas, x e y , de un espacio y que calculamos sus volúmenes. En todas las geometrías los volúmenes son aditivos, igual que las distancias. Si, en cambio, realizamos la operación física de añadir un cuerpo de agua a un cuerpo de alcohol, hallaremos que el volumen líquido total no equivale a la suma de los volúmenes parciales: $V(x + y) \neq V(x) + V(y)$. También ésa es una verdad sintética (no analítica). La experiencia sugiere que los volúmenes de materia son aditivos a condición de que tengan la misma composición química. Pongamos ' E ' para significar "especie química". Tenemos entonces:

$$\text{Si } x \text{ e } y \text{ están en } E, \text{ entonces } V(x + y) = V(x) + v(y) \quad [13.2]$$

Incluso esa proposición es insuficiente en algunos casos. Piénsese en la unión de dos cuerpos de uranio cuya masa total rebase la masa crítica en la cual se produce el comienzo de una reacción en cadena. Todos esos son casos de aditividad condicional. Pero algunas magnitudes no son aditivas ni siquiera condicionalmente. Así, por ejemplo, si las dos varillas, x e y , de nuestro anterior ejemplo se encuentran a temperaturas diferentes, entonces la temperatura compuesta del cuerpo, o sea, la temperatura de $z \doteq x + y$, no será la suma de las temperaturas parciales, sino que tendrá algún valor situado entre ambas. O sea: si x e y son sistemas diferentes, o partes diferentes de sistemas, entonces sus temperaturas no son aditivas:

$$\text{Si } x \neq y \text{ entonces } T(x + y) \neq T(x) + T(y) \quad [13.3]$$

Las magnitudes que son exactamente aditivas respecto de la variable de objeto se llaman *extensivas*. Más precisamente, llamaremos *incondicionalmente extensivas* a las magnitudes para las cuales existe una operación física de adición, $+$, tal que vale para ellas una ley de la forma [13.1]. Si lo que vale para esas magnitudes es una ley de la forma más débil [13.2], las llamaremos *condicionalmente extensivas*. Las que, como la energía, son aproximadamente aditivas respecto de las variables de objeto se llamarán *cuasiextensivas*. Y todas las demás se llamarán magnitudes *intensivas*. La distancia, el área, la duración, la carga eléctrica y muchas otras magnitudes son extensivas. La masa, la energía, el volumen físico y varias otras son cuasiextensivas. Las densidades—de masa, de población o de cualquier otra cosa—son esencialmente magnitudes intensivas. Así, cuando decimos que el peso específico del hierro es 8, no queremos decir que la adición física (o yuxtaposición) de ocho unidades iguales de agua dará un cuerpo del mismo peso espe-

cífico que el hierro. Otras magnitudes intensivas son la frecuencia, la longitud de onda, el índice de refracción, la solubilidad, la permeabilidad magnética, el cociente de inteligencia y la renta per cápita, así como muchos otros índices numéricos utilizados en la ciencia social.

*Observemos aquí algunos puntos delicados. En primer lugar, el carácter extensivo de una magnitud depende de la existencia de una operación de adición física, pero no toda yuxtaposición o añadido puede considerarse como adición física. Así, por ejemplo, las resistencias eléctricas son aditivas porque, mediante la operación de conexión en serie, pueden combinarse de tal modo que la resistencia total sea igual a la suma de las resistencias parciales. Pero ese resultado no se obtiene si la conexión se hace en batería: por tanto, la conexión en batería no es una forma de adición física. (En cambio, las conductividades, o sea, las propiedades recíprocas de la resistencia, sí que son aditivas en ese tipo de conexión.) En segundo lugar, no es verdad que, como a veces se sostiene, algunas magnitudes extensivas no sean aditivas: si no son aditivas, no se les puede llamar extensivas ya por definición. El caso del teorema de adición de las velocidades en la cinemática relativista suele presentarse como contraejemplo de lo dicho, pero esa interpretación no es correcta; en realidad, en las tres velocidades de que se trata aparecen variables de objeto de distintas clases, a saber, el genérico punto de masa x , el marco de referencia del laboratorio, L , y otro sistema de referencia, M , en movimiento respecto de L . Llamando $U(M, L)$ a la velocidad de M respecto de L , $V(x, M)$ a la velocidad del punto de masa en el marco de referencia M , y $V(x, L)$ a la velocidad de ese mismo objeto respecto de L , tenemos

$$V(x, L) \neq V(x, M) + U(M, L)$$

lo cual no es un caso de sustitución o ejemplificación de [13.3]. Otro equívoco ante el cual hay que estar en guardia consiste en creer que las cantidades intensivas son las que pueden ordenarse, pero no sumarse. Así se dice frecuentemente que una fórmula como “2 °C + 3 °C + 5 °C” es falsa, o incluso un sin sentido, y que las magnitudes psicológicas subjetivas, como el mal gusto, por ejemplo, son ordinales y no cardinales, simplemente porque no son extensivas. Pero eso también es una confusión: todas las magnitudes, extensivas o no, son conceptos cardinales, conceptos cuantitativos. Lo que no puede someterse a operaciones matemáticas son las cantidades intensivas que se refieren a *sistemas diferentes* o a partes diferentes de un mismo sistema. Así, es erróneo sumar los valores numéricos de densidades de población, digamos, de Inglaterra y Australia. Pero, en cambio, tiene sentido calcular la tasa de crecimiento de la densidad de población de una determinada región, multiplicarla por el área de la región y, en general, someter esa magnitud a operaciones matemáticas. Si las magnitudes intensivas no pudieran someterse a ningún cálculo, no entrarían en la composición de las teorías científicas cuantitativas, como entran de hecho.*

La cuestión de si una determinada magnitud es aditiva o no respecto de la variable de objeto tiene que decidirse en última instancia por la experiencia, pero puede anticiparse por la teoría: no, ciertamente, por una teoría cualquiera, pero sí por una que sea lo suficientemente profunda. El punto esencial es éste: las magnitudes intensivas se refieren a

propiedades no-distributivas, no-hereditarias, o sea, *colectivas*. La densidad de población de un país no es lo mismo que la de todas las regiones que lo constituyen, y el concepto deja de ser aplicable cuando se considera un territorio reducido. Análogamente, es incorrecto hablar de la temperatura de una molécula: la temperatura es una propiedad estadística, una propiedad de cualquier amplia colección de objetos atómicos; lo mismo puede decirse de la solubilidad, del índice de refracción, de la permeabilidad magnética, de la renta *per cápita*, todas las cuales son magnitudes intensivas. La termodinámica clásica no podía establecer que la temperatura es una cantidad intensiva: tenía que suponer eso como dado, como una proposición empírica; pero la mecánica estadística muestra que la variable de objeto del functor de temperatura no puede ser más que una amplia reunión de microsistemas.

Esto completa nuestra exposición de la cuantificación numérica como operación conceptual. La cuestión suscita al menos tres puntos de interés filosófico: por qué estimamos tanto la cuantificación; si la cuantificación subyace a la medición, o al revés; y si hay propiedades intrínsecamente no cuantificables. La primera cuestión recibe fácilmente respuesta mediante una lista de las ventajas de la cuantificación. Esas ventajas son: (i) *afinamiento de los conceptos*: así, las magnitudes “cantidad de calor”, “calor específico” y “temperatura” son otros tantos afinamientos del concepto ordinario de calor; (ii) *descripción precisa*: baste con pensar en la descripción de la evolución tecnológica a base del concepto de velocidad de la innovación técnica; (iii) *precisa clasificación*: piénsese en la agrupación de sujetos por lo que hace a su reacción a un determinado fármaco, cuando esa agrupación se hace sobre la base de una precisa función de distribución (cf. fig. 13.1); (iv) formación de *hipótesis y teorías exactas* estableciendo una interrelación precisa entre variables y fórmulas, posible con la ayuda de la matemática; (v) *contrastación rigurosa* de hipótesis y teorías.

Nuestro segundo problema se refiere a la relación entre la cuantificación numérica y la medición. Existe la difundida creencia de que la medición es el fundamento de la cuantificación o, por decirlo de otro modo, la idea de que (i) las propiedades cuantitativas se manifiestan en la medición, y (ii) la medición produce conceptos cuantitativos. Esa

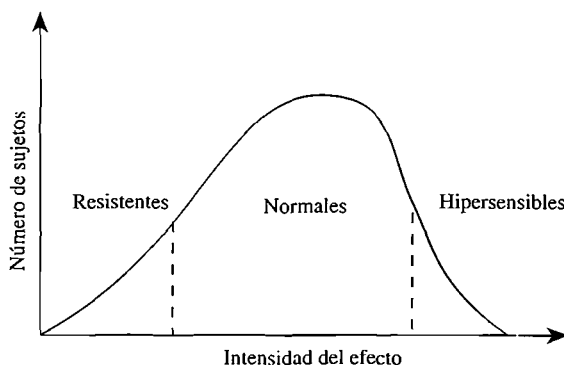


FIGURA 13.1. Una curva típica de la relación dosis-efecto. La curva (la función) produce la división de cualquier grupo de sujetos en resistentes, normales e hipersensibles.

creencia es errónea, como lo muestra la existencia de teorías cuantitativas en la matemática, la cual no tiene nada que ver con la operación empírica llamada ‘medición’. Además, hay que disponer del concepto antes de poder atribuirle un número con la ayuda de una operación empírica; y también hace falta un poco de análisis lógico del concepto, si es que la medición ha de ser correcta. Tomemos, por ejemplo, el concepto de velocidad: hizo falta que los físicos se dieran cuenta de que la velocidad es un vector de tres componentes para que pudieran planearse mediciones precisas de la velocidad, aparte del caso elemental del movimiento rectilíneo. Medir una velocidad es, en efecto, atribuir un valor numérico a cada uno de sus componentes sobre la base de ciertas observaciones. Primero viene el concepto, luego la medición correspondiente: ese orden es aún más manifiesto si el objeto de medición resulta ser medible sólo indirectamente. Piénsese en la medición de la longitud de onda de la luz careciendo de la hipótesis de que la luz se mueve en ondas. Las mediciones medievales de diversos fenómenos fueron en su gran mayoría estériles porque les faltó el correspondiente y previo análisis conceptual. La cuantificación precede a la medición porque, por definición, medir es atribuir valores concretos a variable(s) numérica(s) de un *concepto* cuantitativo sobre la base de la observación.

La tercera cuestión filosófica que deseamos comentar está asociada con Galilei, el cual formuló la *Regla*: “Medir lo medible e intentar hacer medible lo que aún no lo sea.” Es evidente que la historia de la ciencia es en parte la historia de la cuantificación de conceptos inicialmente cualitativos. Los problemas que aquí se plantean son: (i) ¿Es posible cuantificar *todo* concepto? y (ii) ¿Es deseable intentar la cuantificación de lo que es aún cualitativo? La primera pregunta está ya contestada para siempre, y precisamente de modo negativo: hemos visto antes que los conceptos individuales, como “Russell”, y las relaciones no comparativas, como “está en”, son no-cuantitativas. Se les pueden atribuir cifras (no números) de un modo convencional, pero eso no puede considerarse como una cuantificación propiamente dicha; por tanto, la atribución de esas cifras no es una medición. La cuestión de la deseabilidad de la cuantificación de lo aún cualitativo y que no es ni un individuo ni una relación no comparativa debe contestarse afirmativamente. Podría sin duda objetarse que propiedades determinadas, como masculinidad, no pueden recibir en atribución números más que de modo convencional: cualquier organismo de reproducción sexual es macho o hembra. Pero los biólogos se han visto obligados a ir más allá de esa dicotomía, introduciendo un concepto de grado de masculinidad: los biólogos pueden producir experimentalmente toda una gama de individuos de una determinada especie, como la mosca de la fruta, con varios grados de masculinidad. Aún más: no hay ninguna razón para negar que ese concepto, aún cualitativo, de grado de masculinidad pueda cuantificarse identificándolo con alguna proporción hormonal. Algo parecido ha ocurrido con el concepto de dureza: fue posible cuantificarlo en cuanto se descubrió su relación con algunas propiedades físicas más fundamentales.

Aún puede objetarse, empero, que ese procedimiento no puede aplicarse a todas las ciencias del hombre. Parecería, según esto, erróneo decir que una persona está dos veces más asustada que otra. La razón sería que los sentimientos, deseos, etc., no pueden dividirse en partes, cada una de las cuales sea un sentimiento o deseo menos intenso. Pero todo el mundo ha experimentado temor en grados diversos; ¿por qué no intentar entonces la cuantificación de ese sentimiento? La realidad es que esa cuantificación puede

practicarse, al menos en principio, sobre la base de una relación, hoy día perfectamente conocida, entre el temor y el nivel o la concentración de adrenalina en la sangre: por tanto, esta variable bioquímica puede utilizarse como indicador cuantitativo objetivo del temor. La cuantificación de un concepto así sólo es imposible si nos aferramos a un planteamiento y una descripción superficiales del fenómeno; pero si se trae a colación el sustrato fisiológico de la vida psíquica —el sustrato que ignoran tanto el introspectivismo cuanto el conductismo—, entonces se encuentra a nuestra disposición todo un abanico de indicadores objetivos y cuantitativos. Cosa parecida ocurre con el valor: si de verdad deseamos cuantificar y medir el valor tenemos que intentar correlatarlo con alguna propiedad cuantitativa o con algún conjunto de propiedades cuantitativas, en vez de seguir entendiéndolo como una noción básica e inanalizable. Supongamos que consiguiéramos cuantificar las necesidades o aspiraciones de los seres humanos por lo que hace, digamos a título de ejemplo, a los estímulos estéticos igual que cuantificamos nuestras necesidades de vitaminas. Podríamos entonces dar otro paso: convenir en definir el valor estético de un objeto x para un individuo y como la medida en la cual x satisface las necesidades estéticas de y . Se trataría de una fracción entre 0 (insatisfacción total) y 1 (satisfacción total). De este modo quedaría cuantificado el valor estético y , cosa aún dada por añadidura, quedaría cuantificado sobre la base de indicadores objetivos: por tanto sería medible en el sentido estricto antes estudiado. La inexistencia de teorías cuantitativas en el terreno de la estética o, en todo caso, la inexistencia de teorías satisfactorias dotadas de esas características, no prueba la imposibilidad lógica de las mismas, ni tampoco su incontrastabilidad empírica: el hecho puede deberse a una larga tradición de pensamiento laxo, así como a la errónea idea de que la cuantificación y , en general, la matematización están esencialmente vinculadas al tema. Una vez que nos hemos dado cuenta de que no es el tema, la materia, sino nuestras *ideas* sobre ellos las que son objeto de cuantificación numérica, no quedan barreras insuperables que oponer a la cuantificación.

Atendamos ahora a la atribución real de números sobre la base de procedimientos empíricos, o sea, a la medición.

Problemas

13.1.1. Analizar la cuantificación de algún concepto científico. *Problema en lugar de ése*: Cuantificar algún concepto tratado hasta ahora como no cuantitativo, tal como la anomía o la marginalidad.

13.1.2. ¿Son las magnitudes físicas empíricas en el sentido de que denoten nuestras experiencias sensibles o en el sentido de que puedan ser objeto de procedimientos empíricos? Comparar la sensación de calor con el concepto de temperatura. Tener en cuenta fenómenos como el siguiente: La taza de vidrio colocada encima de una mesa de madera se siente como más fría que la mesa misma, aunque estén a la misma temperatura. La temperatura no depende del estado de nuestras manos ni de las conductividades térmicas de las cosas, propiedades que, en cambio, determinan las sensaciones de frío y de calor.

13.1.3 ¿Por qué la densidad de la mezcla de dos sistemas líquidos no es igual a la suma de sus respectivas densidades?

13.1.4. Tomar un enunciado legaliforme cualquiera y mostrar qué variables y parámetros del mismo son extensivos y cuáles son intensivos.

13.1.5. Examinar los indicadores siguientes: (i) La importancia de la domesticación de plantas en un determinado lugar puede estimarse sobre la base del número de especies cultivadas y el número de especies silvestres en dicha región, o sea: $D = C / (C + S)$. Lo mismo vale para la importancia de la domesticación de animales. (ii) La intensidad de la difusión cultural, o sea, la intensidad de los contactos interculturales, puede cuantificarse entendiéndola como la razón I/C del número de objetos intercambiados (importados y exportados) al número total de objetos consumidos en una determinada región durante un periodo unidad. *Problema en lugar de ése*: Discutir el coeficiente de semejanza biológica introducido por P. H. A. Sneath y R. R. Sokal en "Numerical Taxonomy", *Nature*, 193, 855, 1962.

13.1.6. Examinar la determinación genética de la afinidad entre especies. *Problema en lugar de ése*: Informar acerca de cualquier planteamiento cuantitativo del estudio de la personalidad. Cf., por ejemplo, S. E. Asch, "Studies of Independence and Conformity", *Psychological Monographs*, núm. 416, 1956.

13.1.7. Estudiar la posibilidad de cuantificar la innovación o cualquier otra variable importante para las ciencias del hombre. *Problema en lugar de ése*: Examinar la posibilidad de que los fracasos de los psicólogos en el intento de medir algunos rasgos y actitudes se deba a que no los han analizado en componentes más simples, tal vez acaso porque no se hayan dado cuenta de su complejidad, o ni siquiera de la necesidad de empezar con un análisis conceptual, y no directamente con procedimientos empíricos.

13.1.8. Discutir la introducción de términos pseudocuantitativos, como 'cantidad de energía psíquica', 'volumen de la excitación', 'nivel de excitación', 'fuerza inconsciente', 'interacción motivacional', y otros más utilizados para dar a doctrinas pseudocientíficas un perfumado baño científico. Empezar por precisar la(s) condición(es) que debe cumplir un término para designar un genuino concepto cuantitativo. Establecer luego la(s) condición(es) de la aplicación de conceptos cuantitativos. Y observar, finalmente, si ciertos términos muy usados en las ciencias del comportamiento y en las pseudociencias que discurren del mismo satisfacen esas condiciones. Véase M. Bunge, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, Transaction, 1999, cap. 4.

13.1.9. Examinar la opinión de que una disciplina puede utilizar procedimientos cuantitativos, con objetivos eminentemente prácticos, sin necesidad de usar por ello conceptos cuantitativos. Cf. A. C. Crombie, "Quantification in Medieval Science", *Isis*, 52, pt. 2, 143, 1961, y H. Guerlac, "Quantification in Chemistry", *ibid.*, 198, 1961. *Problema en lugar de ése*: Examinar la opinión según la cual es posible establecer una teoría general, básica y *a priori* de las magnitudes de una determinada clase, por ejemplo, de las magnitudes extensivas. Algunas teorías así (llamadas 'teorías de la medición') han sido ya presentadas por matemáticos, lógicos y psicólogos, basándose todos en el supuesto de que las leyes de las combinaciones de magnitudes (como la asociatividad, la conmutatividad y la aditividad) son puramente matemáticas y, por tanto, independientes de las leyes sustantivas (factuales) que se presentan en la ciencia factual. ¿Son realistas esas teorías? Es decir: ¿son aplicables a las teorías científicas existentes? ¿Y puede construirse una verdadera teoría de la medición sin la ayuda de teorías sustantivas fundamentales? Tómese el caso de la física, que contiene tantas teorías de la medición cuantas teorías de sistemas físicos sustantivos y distintos.

13.1.10. Analizar la doctrina operacionalista según la cual la medición produce conceptos cuantitativos y es por ello la base de toda teoría, creencia que subyace a la práctica común de empezar los textos de física hablando de mediciones. *Problema en lugar de ése*: Examinar la creencia, difundida entre los epistemólogos, de que todas las magnitudes básicas (primitivas) deben ser extensivas debido a que sólo éstas pueden medirse directamente. Tómese en cuenta la mecánica de los medios continuos y las teorías de campos.

13.2. VALOR MEDIDO

La cuantificación numérica es un proceso por el cual una fórmula cualitativa, como " $P(x)$ ", se sustituye por una fórmula cuantitativa, como " $P(x) = y$ ", en la cual x es un objeto genérico (un individuo o una clase), e y es un número genérico. Cuando se atribuye un valor individual de y a una determinada propiedad de un determinado objeto con la ayuda de la observación, se lleva a cabo la operación empírica llamada medición. Por ejemplo, comparar el peso de un determinado cuerpo con el peso de un cuerpo estándar o patrón es medir el valor del peso $P(x) = p$, de ese objeto determinado c . Lo medido —el *mensurandum*— es siempre un valor particular de una variable numérica de un concepto cuantitativo (magnitud) que representa una propiedad de algún sistema concreto.

En la anterior caracterización de la medición hemos distinguido tres conceptos: (i) una *propiedad*, como la altura, que se supone objetivamente gradual; supongamos que ' $\dot{r}$ ' designa los grados, cantidades en sentido vulgar o intensidades de una determinada propiedad, y $\dot{R}$ el conjunto de valores de $\dot{r}$. (ii) *Los valores medidos* de los grados $\dot{r}$; los llamaremos $m(\dot{r})$, y $\{m(\dot{r})\}$ al conjunto correspondiente de los valores medidos. (iii) *Los valores numéricos* de la magnitud que representa la propiedad; hagamos que ' r ' designe esos números y R el conjunto de los r . Cf. tabla 13.1.

TABLA 13.1
EL MENSURANDUM Y SUS ESTIMACIONES

<i>Entidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Nivel</i>
Mensurandum (grado de una propiedad)	$\dot{r}$	varilla ←longitud→	Realidad
Valor medido de una propiedad	$m(\dot{r})$	(100 ± 0,1) cm	Experiencia
Valor numérico de una propiedad	r	100 cm	Teoría

Mientras que de la cantidad (en sentido vulgar) $\dot{r}$ suele suponerse que es un rasgo de un fragmento de realidad, su estimación empírica $m(\dot{r})$ es el resultado de un acto de medición, y r es un componente de un concepto teórico. Algunos $\dot{r}$ son perceptibles: son rasgos objetivos, independientes de la conceptualización y de la medición. En cambio, los $m(\dot{r})$ y los r son números. Por ejemplo, $\dot{r}_1$ y $\dot{r}_2$ pueden ser dos alturas perceptiblemente diversas, y $m(\dot{r}_1)$ y $m(\dot{r}_2)$ sus valores (aproximados) correspondientes, obtenidos con la ayuda del valor numérico presente en el concepto cuantitativo "altura". En las teorías científicas se encontrarán valores r , no valores $m(\dot{r})$, pero unos y otros representan el mismo conjunto de valores $\dot{r}$ (si el proceso de medición no modifica apreciablemente el mensurandum). Las anteriores distinciones pueden parecer artificiales, pero se hacen a menudo en la ciencia y tienen un profundo alcance filosófico.

Ejemplo 1. Consideremos un delgado cuadrado material de acero o de cualquier otra sustancia. Una simple representación conceptual de esa cosa es un cuadrado geométrico, por ejemplo, de lado unidad. Este modelo ideal desprecia, ciertamente, todas las irregularidades de los ángulos y la superficie del cuadrado material; pero de todos modos es el modelo conceptual, y no la cosa misma, el que podría integrarse en una teoría científica (por ejemplo, en la estática). El teorema pitagórico da $\sqrt{2}$ como longitud de cada una de las diagonales del cuadrado. Los dos números, 1 y $\sqrt{2}$, son números r , que representan cada uno una determinada cantidad $\dot{r}$, a saber, el lado y la diagonal del cuadrado real. Supongamos ahora que se adopte una escala de longitud, 's' y se tomen mediciones de los dos mensuranda con un expediente que dé un error de 2 por mil (o sea, de dos milímetros por metro). Los resultados de las mediciones serán entonces los siguientes datos:

$$\begin{aligned}m(\text{lado del cuadrado}, s) &= 1 \pm 0,002 \\ m(\text{diagonal del cuadrado}, s) &= 1,414 \pm 0,003\end{aligned}$$

expresiones en las cuales 's' designa la escala y unidad adoptadas para los fines perseguidos. El primer enunciado puede leerse de varios modos equivalentes: 'El valor medido del lado del cuadrado se encuentra entre 0,998 y 1,002 unidades s' 'El valor medido en unidades s del lado del cuadrado es un número desconocido del intervalo [0,998, 1,002]', 'El valor más probable del lado medido del cuadrado es 1 unidad s con un error del 2/1000', etc. Lo mismo vale del segundo enunciado. Obsérvese ante todo la incertidumbre o laxitud peculiar a los valores de medición $m(\dot{r})$, rasgo que no se encuentra en cambio en los valores teóricos r . En segundo lugar, obsérvese que el valor medio, 1,414, obtenido para la diagonal puede expresarse como una fracción, a saber, 1414/1000, próxima a 43/3. Toda medición da un número fraccionario, mientras que los valores teóricos pueden ser irracionales (no-fraccionarios), como en el caso del valor r o teórico $\sqrt{2}$ para la diagonal del cuadrado.

Ejemplo 2. Es una plausible hipótesis de la teoría del electrón la idea de que la carga eléctrica de todo electrón del universo es la misma, independientemente de su interacción con el resto del mundo. Pero si se miden las cargas de cualquier par de electrones, o incluso si se mide dos veces la carga de un mismo electrón, lo más probable es que se obtengan valores ligeramente diferentes. Dicho de otro modo: puede ser que se obtenga cierto número de valores $m(\dot{r})$ diferentes para lo que se supone ser un solo valor r que refleja una sola cantidad $\dot{r}$.

Ejemplo 3. Supongamos que deseamos estimar la importancia de la domesticación de animales en una determinada comunidad prehistórica. Lo primero que tenemos que hacer no es emprender precipitadamente viaje a la estación prehistórica, sino sentarnos a inventar un concepto cuantitativo de grado de domesticación de animales. Un tal índice puede ser la razón del número de animales domesticados al número total de animales, domesticados y salvajes, que consume cualquier comunidad en un determinado periodo. Con símbolos de comprensión obvia: $I = (D/D + S)$. (Recuérdese el problema 13.1.5.) Para medir el valor de ese índice para una determinada comunidad —por ejemplo, una que vivió en una determinada caverna en algún momento dado— tendremos que contar el número de huesos de animales domésticos y animales salvajes hallados en la caverna y

realizar al final las operaciones aritméticas indicadas en la fórmula del índice de domesticación animal. El valor hallado de ese modo no será una medida muy fiable del grado de domesticación animal alcanzado por nuestros antepasados: puede perfectamente haber ocurrido que las especies domésticas tuvieran más (o menos) huesos que las especies salvajes, o que sus huesos fueran más duros (o más blandos) y, consiguientemente, se conservaran mejor (o peor) que los otros, o que la mayoría de los animales domésticos no se sacrificaran, sino que se ordeñaran o esquilan, etc. En cualquier caso, es concebible que el cómputo de los huesos no suministre una estimación enteramente fiable del efectivo valor del grado de domesticación animal. Puede acaso construirse entonces otro índice, u otra técnica diferente de medición, pero mientras tanto es posible que no tengamos medios mejores para estimar la importancia de la domesticación de animales en los tiempos prehistóricos. Así pues, los valores medios pueden diferir de los valores reales. Consiguientemente, los enunciados sobre valores medidos pueden diferir de los enunciados sobre valores reales. Una posible fuente de discrepancia es el *error* supuesto en la mayoría de las operaciones de medición, error del cual sólo pueden considerarse exentas las más sencillas operaciones de conteo o cómputo; este error es peculiar a la técnica empleada en cada caso. Según esto, la forma típica de los datos de medición, o sea, de las proposiciones que se refieren a resultados de medición, no es " $m(\dot{r}, s) = r$ ", sino

$$m(\dot{r}, s) = p/q \pm \sigma \quad [13.4]$$

en la cual p y q son enteros y $\sigma \geq 0$ es el error. Otra fuente posible de discrepancia entre valores reales y valores medidos es que, mientras que los primeros pueden ser números irracionales —o sea, números reales r , tales que, para todo par de enteros p y q , $r \neq p/q$ —, en cambio, todo valor medido es un número *racional* (fraccionario). Esta limitación no puede evitarse, pues nace del acto mismo de medición, el cual supone la comparación de una cantidad $\dot{r}$ con una unidad de la misma propiedad. Los valores irracionales, que en la teoría son de suma importancia, resultan empíricamente inaccesibles: la medición no da más que *aproximaciones fraccionarias* más o menos groseras a los valores reales. Una ciencia estrictamente empirista tendría que usar exclusivamente números racionales, porque sólo éstos pueden obtenerse en la operación efectiva (empírica) de medición: todos los demás son objeto de hipótesis. Pero una tal ciencia que evitara las variables continuas se vería imposibilitada de utilizar el álgebra y el cálculo infinitesimal, pues una y otro utilizan el continuo de los números reales. Por tanto, una ciencia estrictamente empirista no habría rebasado el nivel alcanzado por los científicos en el siglo xvi.

La discrepancia entre valores actuales, reales, y sus estimaciones empíricas es en la mayoría de los casos desconocida e *incognoscible*: lo más que podemos hacer es estimar límites más allá de los cuales resulta extremadamente improbable que se encuentre la discrepancia. Dicho brevemente: la diferencia $\Delta = r - m(\dot{r})$ es en la mayoría de los casos incognoscible. (Lo único que puede calcularse —por medio de la definición $\epsilon_i = m_i(\dot{r}) - \bar{m}(\dot{r})$ — es el error ϵ_i de una medición individual $m_i(\dot{r})$ respecto de un valor "exacto" $\bar{m}(\dot{r})$. En la expresión anterior $\bar{m}(\dot{r})$ resulta ser en la práctica una media de anteriores valores de medición o un valor teórico.) Esa incognoscibilidad es una de las razones por las cuales los empiristas evitan las expresiones 'valor real', 'valor actual', 'valor efecti-

vo'; pero no se matan monstruos por el procedimiento de no hablar de ellos. La discrepancia tiene que admitirse o sospecharse si es que deseamos entender (i) por qué diferentes técnicas de medición pueden dar estimaciones diferentes de lo que la teoría supone ser un solo valor, y (ii) por qué la aparición de nuevos procedimientos (técnicas) de medición de los valores de una determinada cantidad pueden constituir un importante progreso científico.

Tomemos, por ejemplo, las varias técnicas existentes para medir la velocidad de la luz en el vacío, $\dot{c}$: todas ellas dan valores ligeramente discrepantes. A medida que se inventan técnicas nuevas de medición se obtienen nuevos valores c : no sólo más decimales, sino incluso a veces nuevos resultados que afectan a decimales importantes de anteriores resultados. ¿Inferiremos de ello que la velocidad de la luz se ha alterado desde las anteriores mediciones, de tal modo que las diversas operaciones suministran diferentes valores reales? Esta conjetura —la de que la velocidad de la luz cambia con el curso del tiempo— se ha propuesto efectivamente. Pero es una hipótesis completamente infundada: no hay indicación alguna ni en la teoría de la luz ni en la cosmología, de que esos cambios de los valores medidos reflejen un cambio real. Consiguientemente, es más razonable: (i) rechazar el supuesto filosófico de que no hay más que valores medidos, y (ii) suponer que lo que ha cambiado en el curso del tiempo han sido los valores medidos de $\dot{c}$, la cual es una constante universal aproximadamente conocida por esas mediciones. Dicho brevemente: $\dot{c}$ es incognoscible, pero, gracias a varios instrumentos empíricos y teóricos, obtenemos varias estimaciones. En general, toda técnica de medición T_n suministra un valor peculiar $m_n(\dot{c})$ (que es en realidad una media $\bar{m}_n(\dot{c})$) de cualquier constante dada, o un peculiar conjunto $m(\dot{r})$ de valores de un determinado conjunto R de valores de un conjunto $\dot{R}$ de grados de una determinada propiedad. Esperamos —sin poderlo garantizar— que la secuencia de valores medidos, a la larga, *convergirá con los valores reales* desconocidos. (Cf. fig. 13.2.) Esos varios valores no obedecen ley alguna, y nuestro único funda-

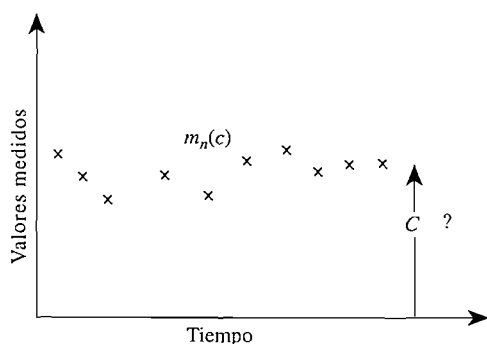


FIGURA 13.2. Una secuencia temporal imaginaria de los valores medidos, $m_n(c)$, de una constante $\dot{c}$, obtenidos utilizando sucesivamente técnicas perfeccionadas.

mento para esperar que converjan con el valor real es que nos esforzamos por realizar esa esperanza. Nuestra ignorancia del valor actual c y nuestra esperanza de acercarnos cada vez más a él no son, a su vez, sino motivos para intentar la tarea con nuevas técnicas de medición. Afirmar que el valor de una propiedad dada *es* el valor suministrado por

una serie de mediciones—o sea, afirmar que en todo caso $m(\dot{r}) = r$; o incluso que no existe un mensurandum objetivo $\dot{r}$ del que $m(\dot{r})$ sea un valor aproximado—es desprestigiar la entera historia de la ciencia. La facilidad con la cual puede ignorarse efectivamente la historia de la ciencia explica la frecuencia con que se presenta aquella creencia.

Como una medición es un proceso físico, y un proceso físico que supone por lo menos un sistema macroscópico (el dispositivo de medición), y como no hay dos cosas idénticas a nivel macroscópico (cf. sec. 6.1), es improbable que se obtengan nunca dos resultados de medición idénticos. Se producirán ligeros cambios en el mensurandum, en el instrumento y en el medio ambiente de ambos, y, consiguientemente, los resultados numéricos diferirán, aunque sea poco. Dicho de otro modo: los resultados de cualquier tanda de mediciones cuidadosas son diferentes porque todos los sistemas implicados en esos procesos están sometidos a perturbación; del mismo modo que Heráclito no podía bañarse dos veces en *el mismo* río, así tampoco nosotros podemos medir dos veces la *misma cosa* con *el mismo* aparato. Por eso necesitamos representaciones de series enteras de mediciones, para que absorban las diferencias individuales y tengan alguna estabilidad. Uno de esos representantes estables de una tanda de mediciones de un mensurandum dado es la media o promedio. Sea $m_i(\dot{r})$ el i -ésimo valor medido del mensurandum $\dot{r}$. Un conjunto de números de esa clase será el resultado bruto de una serie de N mediciones. No es probable que se adopte ninguno de ellos: lo que en última instancia se adopta es una construcción lógica obtenida a partir de esos números, a saber, la *media* de todos ellos:

$$\bar{m}(\dot{r}) = \frac{m_1(\dot{r}) + m_2(\dot{r}) + \dots + m_n(\dot{r})}{N} \quad [13.5]$$

En la práctica, el experimentador suele adoptar la *Regla siguiente*: Tomar como estimación del valor real de un mensurandum la media de una larga secuencia de mediciones precisas del mismo. La regla no es arbitraria, sino fundada: puede, en efecto, mostrarse que los errores casuales de medición se distribuyen simétricamente en torno de la media, esto es, que tienden a *compensarse* los unos a los otros a plazo largo y a disponerse en haz alrededor de la media, la cual es un valor relativamente estable. El valor medio es, pues, el más probable; por eso se le llama también valor exacto, pero propiamente es sólo una *estimación* del valor exacto, el cual es en sí mismo una incógnita desconocida en muchos casos.

En suma, tenemos que distinguir los tres siguientes conjuntos de números asociados con un mismo mensurandum $\dot{r}$: (i) su valor *real*, pero desconocido, r , o sea el valor numérico que tiene la cantidad o porción $\dot{r}$ independientemente de nuestras mediciones; (ii) los varios resultados particulares, $m_i(\dot{r})$, de mediciones cuidadosas (pero siempre imperfectas) de $\dot{r}$, o sea, los varios *valores medidos particulares* de $\dot{r}$; y (iii), el *valor más probable*, $\bar{m}(\dot{r})$, igual a la media de los valores individuales obtenidos en una determinada serie de mediciones hechas con óptimos medios (disponibles: tanto instrumentos cuanto técnicas) y en circunstancias de control óptimo. La media es el valor generalmente aducido como *el* valor medido del mensurandum. En la práctica (i) es improbable hallarlo a base de medición: es el resultado de una operación conceptual hecha sobre resultados de

mediciones; y (ii) no es un número solo, sino un par de números: la media propiamente dicha, $\bar{m}$, y el error, σ , o dispersión en torno del promedio. Ese par de números suministra una caracterización estadística o colectiva de un conjunto de mediciones. Lo que se introduce en una teoría es el valor central $\bar{m}$.

La media $\bar{m}$ se llama a menudo el *valor verdadero*, pero ese nombre está fuera de lugar: no conocemos el valor verdadero, y si lo conociéramos para un mensurandum dado no seguiríamos intentando mejorar las correspondientes técnicas de medición. Todo lo que sabemos es que el llamado valor verdadero (o exacto) suministra *la mejor estimación disponible* del valor real r . El valor real o actual r es probablemente próximo a $\bar{m}(\dot{r})$, es probable que se encuentre entre $\bar{m}(\dot{r}) - \sigma$ y $\bar{m}(\dot{r}) + \sigma$, e improbable que caiga fuera de ese intervalo; pero la única certeza, la única tranquilidad que puede tenerse al respecto es esa afirmación probabilitaria más la esperanza de que futuros esfuerzos por ahora ni siquiera imaginados pueden reducir el margen de error.

Ahora que hemos conseguido alguna claridad acerca de la diferencia entre una magnitud y su medición, así como de las complejidades de esta última, podemos echar un vistazo a la clase más simple de medición: el cómputo.

Problemas

13.2.1. La proposición “La altura de este cuerpo es 2”, ¿es un aceptable informe de medición?

13.2.2. Supongamos que la carga eléctrica de un corpúsculo, calculada por algún procedimiento de medición, resulta ser de 10,1 cargas electrónicas. Calcular el error sabiendo que, según nuestro actual conocimiento, las cargas eléctricas se presentan en unidades, las cuales son precisamente las cargas electrónicas.

13.2.3. Una gran rueda, o un gran volante, como el aparato de los barquilleros, lleva inscritas en su borde cifras al azar. Imprimimos un movimiento giratorio a la rueda y, al detenerse ésta, una de esas cifras queda en cada caso bajo un índice fijo; leemos la cifra y la registramos. ¿Constituye eso un aparato de medición? ¿Es una medición esa atribución de cifras a acontecimientos físicos?

13.2.4. Comentar la siguiente afirmación de E. Schrödinger en *Science: Theory and Man*, Nueva York, Dover Publications, 1957, p. 73: “Por lejos que vayamos en la búsqueda de precisión, no conseguiremos nunca más que una serie finita de resultados discretos, los cuales son *a priori* resultados puestos por la naturaleza del instrumento. [...] toda medición es una interrogación dirigida a la naturaleza, y somos nosotros los que hemos dispuesto por anticipado un número finito de respuestas, imponiendo siempre a la naturaleza la situación de un elector ante unas pocas posibilidades de elegir”.

13.2.5. Comparar los enunciados siguientes del teorema de Pitágoras para un triángulo rectángulo de lados a , b y diagonal c :

$$c = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (\text{Geometría euclídea pura})$$

$$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}, \text{ con } l(a, b, c) = \text{lados de un triángulo} \quad (\text{Geometría euclídea física teórica})$$

compuesto por rayos de luz.

$$m(c) = \sqrt{[m(a)]^2 + [m(b)]^2} \pm \epsilon \quad (\text{Geometría experimental})$$

13.2.6. Analizar la definición, tan copiada y citada, que propone N. R. Campbell en *Foundations of Science*, Nueva York, Dover Publications, 1957, p. 267: “La medición es el proceso que consiste en atribuir números para representar cualidades.” ¿Describe esa proposición la medición propiamente dicha o más bien la cuantificación? Recordar lo dicho en la sec. 13.1.

13.2.7. Discutir la tesis de M. Born y otros autores según la cual la ciencia es en el fondo estadística porque la medición exacta incluye un error casual sujeto a una ley estocástica. Indicación: mantener con claridad la distinción, entre referencia y evidencia. *Problema en lugar de ése*: Analizar la opinión según la cual la elección del valor medio como estimación del valor verdadero es una decisión esencialmente convencional (infundada).

13.2.8. Examinar la versión contemporánea de la filosofía de Berkeley que podría resumirse en la máxima tácita, pero muy ampliamente seguida, “Ser es ser medido”. Cf. M. Bunge, *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, cap. 8.

13.2.9. Discutir la tesis kantiana de que no tiene interés adoptar la hipótesis de la existencia de las cosas en sí mismas, como, por ejemplo, nuestros grados $\bar{r}$ y los correspondientes valores reales, r , que son incognoscibles.

13.2.10. Cada resultado de medición macroscópica es en la práctica una media basada en un volumen y tomada a lo largo de un intervalo temporal. ¿Por qué entonces tenemos que promediar tales promedios.

13.3. CÓMPUTO

Contar es la operación básica de medición, puesto que, en último análisis, hasta la medición de valores de una magnitud continua, como el tiempo, consiste en contar cierto número de unidades de dicha magnitud. En algunas ciencias, particularmente las sociales, contar sigue siendo el principal modo de medir.

Contar o computar es establecer una correspondencia biunívoca entre el conjunto de objetos que hay que contar y un subconjunto de los enteros positivos. (Cf. fig. 13.3.) El orden en que se establezca esta correspondencia es irrelevante: lo único que nos interesa al contar es el miembro mayor del conjunto de los números naturales coordinado con el conjunto dado. Esto supone que el proceso de contar no afecta a la numerosidad del conjunto inicial; o bien, que si la afecta (porque para discriminar entre los miembros de un conjunto dado tengamos que ejercer alguna influencia sobre ellos), el cómputo presupone que hay medios para estimar los cambios introducidos en el número por el proceso del cómputo.

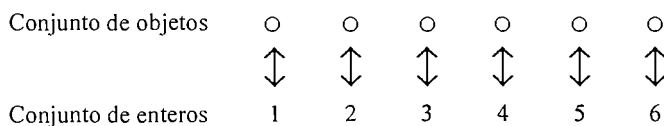


FIGURA 13.3. Cómputo: Una correspondencia biunívoca entre el conjunto contado y un subconjunto de los números naturales.

El conjunto que hay que contar puede ser no empírico, como ocurre con el conjunto de los conceptos primitivos de una teoría. En este caso no consideraremos el proceso del cómputo como una medición, porque no contendrá ninguna operación empírica propiamente dicha. El cómputo se convierte en una operación empírica cuando se refiere a una colección material, como un conjunto de signos o un conjunto de escalofríos. Puede argüirse, sin duda, que incluso el cómputo de objetos ideales es una operación empírica, puesto que supone la existencia y la actividad de una persona que recorre con el pensamiento la experiencia de coordinar dos conjuntos de ideas. Pero no nos interesa aquí esa amplia noción de experiencia: dejaremos de lado la experiencia interna y restringiremos nuestra atención al *cómputo empírico*. Ésta es una operación que requiere la asistencia de los sentidos y, acaso, la de instrumentos especiales, como contadores, y la de teorías especiales, como la de la ionización de la materia por el paso a través de ella de corpúsculos eléctricamente cargados.

Para que una colección de hechos sea empíricamente *contable* tiene que consistir en miembros empíricamente distinguibles. Un sistema físico continuo, como el campo gravitatorio que llena nuestro cuarto de trabajo, no es discreto y, por tanto, no tiene partes naturales (separadas sin artificialidad) que puedan contarse: constituye un conjunto no numerable. Pero la distinguibilidad de los miembros de un conjunto material no es bastante para obtener el objeto del cómputo: su separación, además, tiene que ser empíricamente accesible, esto es, tiene que ser posible distinguir entre sus elementos ya mediante los sentidos, ya con la ayuda de instrumentos especiales.

La discriminación de que se trata es cosa sencilla cuando están en cuestión cosas de tamaños medios, pero se convierte en un problema difícil en los dos extremos de la escala de tamaños. Por lo que hace al cómputo de objetos astronómicos, baste con recordar que hasta hace un par de siglos no eran computables más que los astros comunes: no se habían analizado las estrellas binarias en sus componentes y no se habían ni siquiera “observado” las nebulosas, en parte a causa de la débil resolución instrumental, en parte porque los astrónomos no estaban intelectualmente preparados para percibirlos: no habrían imaginado que pudiera existir una cosa así, porque pensaban según el concepto del astro separado y simple. La situación es aún más difícil en el extremo microscópico de la escala, como se verá por el ejemplo siguiente.

Consideremos un sistema compuesto por dos partículas de la misma clase a las cuales no son accesibles más que dos estados. Problema: contar el número de distribuciones posibles de esos dos objetos entre los dos estados. Dicho de otro modo: contar el número de estados posibles en que puede encontrarse ese universo en miniatura. Lo que se plantea aquí no es un juego con descripciones de estado (cf. sec. 12.5), sino un genuino y difícil problema teórico que, sorprendentemente, admite tres soluciones diferentes (cf. fig. 13.4). Primera solución: si las dos partículas son diferentes y, por tanto, distinguibles en principio, como dos bolitas, hay cuatro posibilidades: las dos bolitas se encuentran en el estado 1, las dos en el estado 2, una en el estado 1 y la otra en el estado 2, y a la inversa. Segunda solución: si las partículas son idénticas, esto es, si no tienen individualidad, es imposible etiquetarlas y, por tanto, no habrá más que una situación en la cual cada partícula puede ocupar un estado diferente; éste es el caso, por ejemplo, de los átomos de helio y demás “bosones”. Tercera solución: si las partículas no son meramente idénticas sino

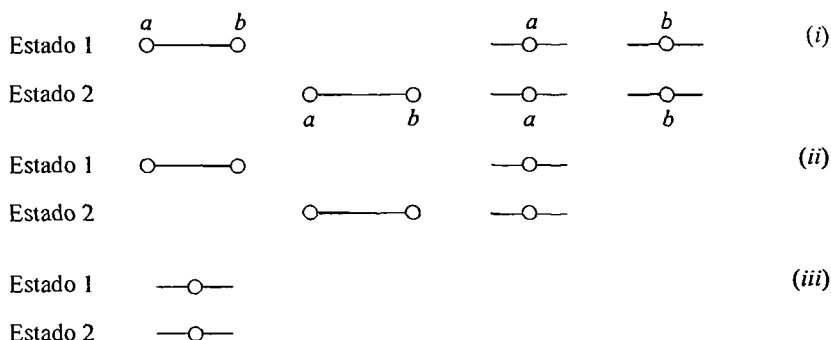


FIGURA 13.4. El resultado de contar en su dependencia respecto de la naturaleza de los objetos afectados. (i) Partículas no idénticas: 4 posibilidades. (ii) Partículas idénticas: 3 posibilidades. (iii) Partículas idénticas y mutuamente excluyentes: 1 posibilidad.

que, además, cada estado no puede ser ocupado más que por una sola partícula, entonces no hay más que una combinación posible: una partícula en cada estado; éste es el caso de los electrones y demás “fermiones”. Así pues, nuestra cuestión inicial ha recibido tres respuestas que no dependen de la aritmética ni de la capacidad resolutoria de los microscopios, sino de la *naturaleza de los objetos* contados, esto es, de leyes físicas. Primera moraleja: antes de contar alternativas físicas —por ejemplo, estados físicamente posibles o movimientos posibles— hay que precisar sobre qué entidades deben contarse, y hay que basar esa decisión sobre una consideración de la naturaleza de los objetos afectados. Si no se hace así, existe la posibilidad de contar la misma alternativa dos o hasta más veces. Esta regla, que ahora parece obvia, no se adquirió hasta finales de los años 20 de este siglo. Segunda moraleja: no puede haber reglas o axiomas de cómputo que sean universales, esto es, independientes de la materia contada: lo contado cuenta tanto como el modo de contarlo.

El cómputo puede ser *directo* o *indirecto*, según que el conjunto que hay que contar conste o no de elementos perceptibles y computables en un lapso de tiempo admisible. Científicamente, el caso más importante de cómputo directo es el de los intervalos temporales. Las mediciones de tiempo no son, en efecto, sino un cómputo de acaecimientos periódicos (recurrentes) de una determinada clase. En principio, lo único que se necesita para un cómputo de esa naturaleza es una teoría que justifique el supuesto básico de que tales acaecimientos son efectivamente periódicos. Expedientes superficiales, extensos (como las esferas de relojes) y, por tanto, mediciones de longitud, no se introducen para la medición del tiempo sino por razones exclusivamente prácticas. (La cuestión filosófica de la naturaleza del tiempo es de suma importancia, pero difícilmente servirá para aclararla una discusión de las técnicas de medición del tiempo, cuestión que no plantea más que problemas, precisamente, técnicos.)

Desde el punto de vista filosófico los casos más interesantes son sin duda los de cómputo indirecto, o sea, los de cómputo realizado con la ayuda de fórmulas legaliformes y de definiciones. Los corpúsculos de la sangre se cuentan indirectamente por razones prácti-

cas: sería un superfluo despilfarro de tiempo y de esfuerzo el contarlos directa, individualmente, a causa de su número y a causa de que aún no es fácil ponerlos de manifiesto. En los casos de los corpúsculos de la sangre, de las estrellas y de muchas otras cosas visibles se utilizan fórmulas estadísticas junto con la técnica del muestreo. En los casos de los átomos, los choques atómicos y otras cosas y acaecimientos invisibles, la estadística desempeña también un cierto papel, pero las fórmulas esenciales son hipótesis sustantivas, no metodológicas. Examinemos brevemente esos dos procedimientos de cómputo indirecto.

Para computar el número total de glóbulos rojos de un determinado individuo se toma una pequeña muestra de su sangre sobre el supuesto de que será una *muestra al azar*, o sea, de que el procedimiento de extracción no habrá influido en la concentración, de tal modo que la muestra será una representación fiable de la población entera. Luego se pueden aplicar varias técnicas a esa muestra: desde el cómputo efectivo de los glóbulos rojos de la muestra con la ayuda del microscopio hasta el uso de algún dispositivo automático construido sobre la base de ciertas leyes sobre la migración de glóbulos rojos en un campo eléctrico. Existe además una técnica intermedia, que puede considerarse como un típico procedimiento de muestreo: se estima el volumen total V de la sangre del sujeto sobre la base de alguna generalización empírica (como la correlación peso-volumen de sangre), y también de datos como el peso del sujeto. Luego se mide el volumen v de la muestra de sangre para averiguar el número total, N , de corpúsculos rojos por medio de la fórmula $N = n \cdot V/v$, en la cual ' n ' designa el número de corpúsculos presentes en la muestra. (La hipótesis " $n/N = v/V$ ", que es verdadera para una gotita, será falsa para una millonésima parte de la misma.) Como la muestra es en esa fase demasiado grande, se diluye en una cantidad conocida de agua y se toma para la observación efectiva una sola gota de esa solución, lo cual implica la suposición de que el proceso de dilución no ha producido acumulaciones ni rarefacciones locales; la segunda muestra es, con base en ese supuesto, tan representativa como la primera. Luego se estima el número de glóbulos presentes en la gota, computando el número de los mismos que se encuentran en un área conocida de la gota y suponiendo también la distribución uniforme. (Cf. fig. 13.5.) El número total de corpúsculos de la muestra se computa a partir de ese resultado y de la razón entre los volúmenes. Del mismo modo se infiere el número total de corpúsculos de la sangre del sujeto. Las hipótesis e inferencias que funcionan en los procedimientos por

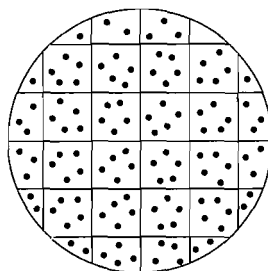


FIGURA 13.5. Cómputo de los glóbulos rojos presentes en un volumen conocido integrado por unas pocas docenas de cavidades cuadradas.

muestreo suelen ser sencillas, pero inciertas, sobre todo cuando la muestra es pequeña; en cualquier caso, son tan importantes como el cómputo en sentido literal.

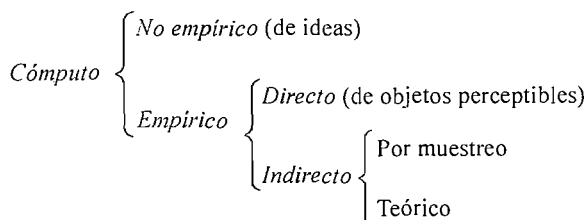
Los resultados de la anterior técnica o de cualquier otro procedimiento indirecto de cómputo no se aceptan ciegamente, sino que se someten a crítica de dos tipos: *comprobación estadística* y *comparación con otras técnicas*. La comprobación estadística es un procedimiento por muestreo como el recién descrito consiste en comparar el número de corpúsculos presentes en cada cuadrado (cf. fig. 13.5) con los valores probables predichos mediante cierta fórmula estadística (la de Poisson sobre la distribución). Si la discrepancia entre el conteo efectivo por cuadrado y los valores previstos es grande, puede sospecharse que el número de cuadrados observados ha sido insuficiente, o que ha sido defectuoso algún otro rasgo del muestreo. La segunda clase de control aludida consiste en comparar los resultados obtenidos mediante la técnica dada con los producidos por otra técnica que supone “principios” (leyes) diferentes: de este modo se confirma o refuta el conteo o cómputo inicial mediante un testigo independiente, por así decirlo. La objetividad de cualquier técnica de cómputo se controla, no se acepta por un acto de fe; si no se procede así, la técnica no merece consideración científica (cf. sec. 1.3). Imagine-mos que un “hemoanalista” pretenda que es capaz de descubrir el número de glóbulos rojos de cualquier sujeto sin más que hacerle unas cuantas preguntas, y que se niegue a presentar su técnica o sus conclusiones para que puedan ponerse a prueba, una o varias veces, por medios independientes de los por él usados. Es claro que su comportamiento no se consideraría científico.

El cómputo de moléculas ilustra la segunda clase de cómputo indirecto, a saber, el cómputo que supone una considerable cantidad de conocimiento científico sustantivo. Podemos llamarle, a falta de nombre mejor, *cómputo atómico-teorético*. Una de las primeras operaciones de ese cómputo fue la determinación del número de Avogadro, o sea, del número de moléculas por mol de cualquier gas en condiciones normales de presión y temperatura. Este número, que es $6\,023 \cdot 10^{23}$, se introdujo como componente de la teoría atómica, esto es, como concepto teorético. Hay varias teorías que sugieren otros tantos modos de “computar” ese número, mediante la derivación de relaciones entre él y otras cantidades. (Por ejemplo, $N = F/e$, y $N = R/k$, fórmulas en las cuales ‘ F ’ significa faraday —que es una constante electroquímica—, ‘ e ’ la carga eléctrica, ‘ R ’ la constante del gas y ‘ k ’ la constante de Boltzmann.) Dicho de otro modo: las teorías físicas sugieren varias comprobaciones, independientes entre sí, de un solo “cómputo” de N , cosa que no sería posible si N no fuera más que el resultado final de ciegas manipulaciones empíricas.

Los números más importantes para la ciencia son los determinados por cálculos indirectos de esta clase atómico-teorética, o sea, por el cómputo que requiere refinadas teorías y no menos sutiles mediciones. La razón de ese hecho es la siguiente: los números fácilmente accesibles, como el número de partes de una hoja de planta o el número de la población de una región determinada, pueden presentarse en descripciones, pero muy rara vez en teorías, aunque no sea sino porque (i) generalmente no hacen falta teorías para determinarlos, y (ii) hay pocas teorías, si realmente existe alguna, en las que puedan introducirse como “alimentación”. Por importantes que puedan ser para fines prácticos, los números directamente medibles tienen escasa importancia cognoscitiva comparados con los números “ocultos”, los números que no son accesibles sino por medio de teorías.

A juzgar por lo que hoy sabemos, los números directamente computables (*i*) son derivados respecto de rasgos más básicos de la realidad, y (*ii*) pueden cambiar dentro de ciertos límites sin que el mundo se convierta en otra cosa cualitativamente diversa. Alteremos imaginativamente la población del mundo en un millón: no es probable que eso desencadene ninguna transformación profunda; pero añadamos o sustraigamos una sola partícula α o de un átomo, y surgirá una cosa cualitativamente nueva.

En resumen, pues, pueden distinguirse las siguientes clases de cómputo:



Problemas

13.3.1. Exponer una técnica de muestreo. Usar cualquier buen manual de métodos estadísticos.

13.3.2. Analizar una técnica para contar bacterias o cualesquiera otros objetos microscópicos presentes en gran número. Precisar exactamente cuáles son los supuestos del uso de esa técnica, cuáles son sus datos y cuáles son las inferencias.

13.3.3. La medición del tiempo puede reducirse al cómputo de acaecimientos periódicos, como los ciclos noche-día. ¿Puede agotar ese procedimiento el continuo de los intervalos temporales supuesto por la teoría física? ¿Es arbitraria la elección de la secuencia de acaecimientos regulares (periódicos)?

13.3.4. Exponer una técnica para la determinación del número de Avogadro o de cualquier otra constante universal, y precisar (*i*) las hipótesis subyacentes y (*ii*) algunos procedimientos de comprobación. Utilizar un buen libro de física atómica experimental.

13.3.5. Comentar la afirmación de H. Dingle en *Scientific American*, 202, núm. 6, 1960, según la cual el número de Avogadro “representa en realidad una combinación de mediciones hechas con termómetros, con aparatos para calcular la presión, con balanzas, etc.”, y no el número de moléculas presentes en una cierta porción unidad de gas y en ciertas condiciones.

13.3.6. Contar, como medir, es una operación sujeta a error, sobre todo si los acaecimientos contados son al azar no regularmente espaciados. El margen de error previsto en el cómputo de N acaecimientos al azar es $\sigma = \sqrt{N}$: es la dispersión de los cómputos en torno de la media. Los cómputos mismos se distribuyen según la ley de Poisson (cf. fig. 13.6). ¿Es el cómputo una operación

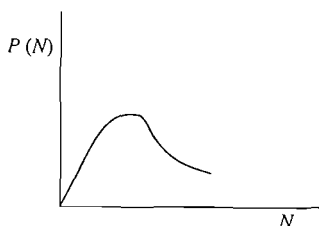


FIGURA 13.6. La distribución de Poisson: un criterio para el cómputo de hechos al azar y un criterio de azar.

puramente empírica? *Problema en lugar de ése*: ¿Son idénticas la numerabilidad y la computabilidad efectiva?

13.3.7. Imaginar un caso en el cual el cómputo de un conjunto de hechos pudiera cambiar la cardinalidad del conjunto. Inventar un procedimiento para corregir ese error.

13.3.8. Estudiar la medición de probabilidades por las frecuencias relativas.

13.3.9. Discutir la opinión según la cual (i) el cómputo es siempre una operación empírica, incluso cuando sus objetos son las raíces de una ecuación; (ii) está sometido a reglas universales independientes del tema material, y (iii) es anterior a toda teoría matemática. *Problema en lugar de ése*: Estudiar la independización gradual de la matemática pura respecto de la medición. Cf. H. S. Carslaw, *Introduction to the Theory of Fourier Series and Integrals*, p. 31: “Conseguir que la teoría de números sea independiente de todo axioma geométrico y asentarla sobre bases del todo independientes de la magnitud medible ha sido el objeto de las teorías aritméticas asociadas con los nombres de Weierstrass, Dedekind y Cantor.”

13.3.10. Dadas unas colecciones de partículas de la misma clase, se obtienen para las mismas teorías diferentes según se suponga que esas partículas son diferentes en algún respecto o son idénticas. (La estadística de Boltzmann, la de Bose-Einstein y la de Fermi-Dirac, que corresponden a los tres casos de la fig. 13.4). La mayoría de los físicos dicen que esas diferencias —empíricamente contrastables— resultan de nuestra incapacidad de distinguir (por ejemplo, etiquetar) las partículas. Examinar esa interpretación. Averiguar también si se trata de cosas realmente idénticas (en cuyo caso serían una sola) o más bien intercambiables.

13.4. ESCALA Y UNIDAD

Cuantificar una propiedad de un sistema concreto es proyectar el conjunto de grados de la propiedad (los $\dot{r}$) sobre un conjunto de números (los r), de tal modo que la ordenación y espaciación de los números refleje el orden y la espaciación de los grados. Y medir es determinar efectivamente algunos de esos valores numéricos. Dicho de otro modo: una magnitud es el modo en el cual los grados de una propiedad se representan por números, y los valores medidos constituyen una muestra de ese conjunto de números.

Consideremos los grados de longitud alcanzados por una varilla metálica sometida a calentamiento. La expansión de la varilla es un aspecto de un proceso complejo, y el alargamiento es un rasgo de ese proceso. El único modo exacto de describir un tal alargamiento consiste en representarlo numéricamente, o sea, en coordinar el conjunto de las porciones de alargamiento (valores $\dot{r}$) con un conjunto de números (valores r). Esta coordinación se hace conceptualmente mediante la introducción del concepto cuantitativo de longitud, o sea, de la función “Longitud del cuerpo x en el estado y en base a la escala $e = r$ ”, siendo r un número real no negativo. Medir la longitud de una varilla dada, α , en un determinado estado térmico b y con base en una escala dada e es atribuir a la variable numérica r un determinado valor después de haber realizado una operación empírica como la comparación del mensurandum con la longitud de un cuerpo tomado como patrón, una regla, por ejemplo. Realizando esa operación, el observador percibe una señal m^* en el instrumento de medición, y la interpreta como imagen de un número $m(c)$, que es él mismo una estimación del valor real c de la longitud medida. El propio valor c es descono-

cido en la mayoría de los casos; la suposición que aquí se hace consiste en admitir que el valor medido, $m(c)$ es una fracción $[c]$ cercana a c (cf. fig. 13.7.) Dicho brevemente: la medición es la contrapartida empírica de la cuantificación o determinación de medida, y consiste en interpretar ciertas señales convencionales (cifras, por ejemplo) como números que suministran a su vez una imagen más o menos fiable de porciones o grados de una propiedad. La medición no es por tanto una proyección directa y completa de esos grados sobre los números.

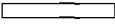
<i>Sistema concreto</i>	<i>Longitud física (grado objetivo)</i>	<i>Longitud conceptual (número real)</i>	<i>Lectura del instrumento</i>	<i>Longitud medida (número racional)</i>
	$\dot{c}_1$	c_1	m^*_1	$m(\dot{c}_1) = [c_1]$
	$\dot{c}_2$	c_2	m^*_2	$m(\dot{c}_2) = [c_2]$
	$\dot{c}_3$	c_3	m^*_3	$m(\dot{c}_3) = [c_3]$

FIGURA 13.7. La proyección de los grados de longitud y de sus contrapartidas instrumentales sobre el conjunto de los números.

*La complejidad de la medición puede apreciarse del mejor modo explicitando su estructura. Se parte del supuesto de la existencia de un sistema *factual* relacional $\mathcal{R} = \langle \dot{R}, \leq \rangle$, que consta del conjunto $\dot{R} = \{\dot{r}\}$ de los grados de la propiedad física, como el peso, y la concreta relación ordenadora $\leq$, por ejemplo, “menos pesado que o tan pesado como”. Luego se introduce el sistema relacional *conceptual* $\mathcal{R} = \langle R, \leq \rangle$, que consta de un subconjunto, R , del conjunto de los números reales y de la relación aritmética “menor o igual que”. La magnitud correspondiente –el peso, en el ejemplo– es una *aplicación* o *mapeo* de $\mathcal{R}$ sobre $\mathcal{R}$, tal que refleja el orden físico de $\dot{R}$. Hasta este punto se trata de cuantificación. Sigamos: llamemos $\mathcal{M}^* = \langle M^*, \leq^* \rangle$ al sistema factual relacional que consiste en un conjunto $M^* = \{m^*\}$ de señales como los trazos de un metro o alguna escala, ordenados por la relación física $\leq$ (por ejemplo: “a la izquierda de o coincidente con”). Y llamemos $\mathcal{M} = \langle M, \leq \rangle$ al correspondiente conjunto de números racionales parcialmente ordenados, que será un subconjunto de los números reales. El resultado neto de una serie de mediciones de una propiedad dada consiste en el establecimiento de una *aplicación parcial* del sistema relacional empírico $\mathcal{M}^*$ s sobre el sistema conceptual relacional $\mathcal{M}$ el cual es a su vez una imagen parcial de $\mathcal{R}$, imagen a su vez de $\mathcal{R}$ (cf. fig. 13.8). Si se elimina cualquiera de los cuatro sistemas $\mathcal{R}$, $\mathcal{R}$, $\mathcal{M}^*$ o $\mathcal{M}$, o cualquiera de las tres aplicaciones, no se tiene ya medición alguna. En particular, si se elimina cualquiera de los componentes factuales, los componentes conceptuales se quedan sin referente; y si se elimina alguno de los componentes conceptuales, no queda vínculo alguno entre el objeto de la medición y el instrumento.*

El intervalo en el cual se representan los grados de una propiedad, junto con la ordenación y el espaciamiento de los representantes, constituyen una *escala* de medición. Las

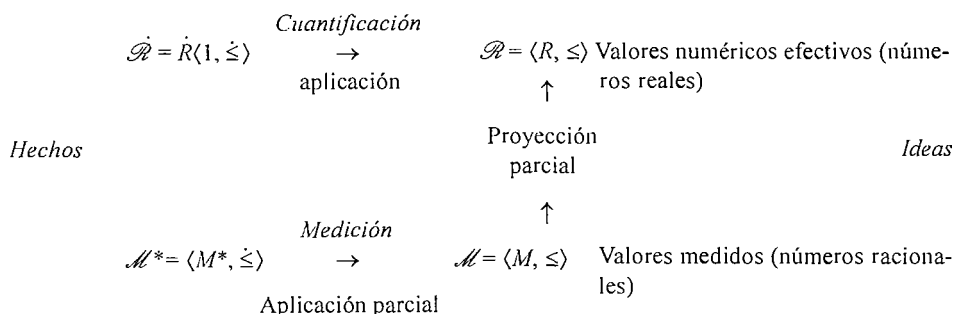


FIGURA 13.8. La medición como una correspondencia entre los grados de una propiedad y las lecturas del instrumento a través de los números.

escalas Celsius y Fahrenheit son dos escalas diferentes de temperatura: cada valor de la temperatura de un cuerpo queda diversamente representado en las dos escalas. En la práctica, para todo par constituido por una magnitud (por ejemplo, el tiempo) y un dispositivo de medición de la misma (por ejemplo, un reloj), hay dos escalas, una conceptual y otra material. Por ejemplo, las horas del día pueden representarse (ambiguamente) sobre el intervalo numérico $[0, 12]$, que es la escala conceptual utilizada para proyectar y construir la mayoría de los relojes; la escala material correspondiente es, como es natural, la esfera del reloj. En general, una *escala conceptual* es el intervalo ordenado sobre el cual se representan los valores numéricos de una magnitud, mientras que la correspondiente *escala material* es el conjunto ordenado de señales, como las cifras de un instrumento, cuya lectura nos permite atribuir valores numéricos a la magnitud de que se trate. En el diagrama de la fig. 13.8, $\mathcal{R}$ es la escala conceptual, y $\mathcal{M}^*$ es la correspondiente escala material.

Es en principio posible asociar a cualquier magnitud dada diversas escalas; sólo el par magnitud-instrumento comporta una escala conceptual y una escala material determinadas. El paso de una escala a otra se llama *cambio de escala*. Uno de esos cambios de escala es la resolución del continuo temporal, que se extiende de menos infinito a más infinito, en periodos de 12 horas; otro corriente cambio de escala es la reducción utilizada en el trazado de mapas gráficos. *Un cambio de escala en una función f que lleva de un conjunto R de números a otro conjunto R' —o sea: $r' = f(r)$ —, con correspondencia biunívoca. Si f es continua, la biunivocidad de la proyección se manifiesta en la continuidad de la imagen R' de R . Los cambios de escala corrientes son lineales, o sea, de la forma $r' = ar + b$, siendo a y b números reales determinados. Pero algunos instrumentos utilizan una escala logarítmica, esto es, no muestran los valores de las magnitudes correspondientes, sino sus logaritmos: $r' = \log r$. En la investigación de bajas temperaturas la escala $1/T$ (o sea, el cambio de escala $T' = 1/T$) es más conveniente, pese a no ser ni lineal ni continua.*

Si el espaciamiento de las marcas de una escala material no satisface ninguna ley conocida, la escala es *ordinal* o topológica. Son, naturalmente, ordinales las escalas impli-

cadadas por la cuantificación y la medición de propiedades ordinales. En cuanto se estipula una separación según ley (no necesariamente constante) entre las marcas, se tiene una *escala métrica*. (Cf. fig. 13.9.) Para la mayor parte de las tareas pertinentes, la escala más ventajosa es la *uniforme*, o sea, la que separa los signos por espacios iguales. Pero toda escala métrica puede transformarse en cualquier otra de la misma clase, y la elección de escala es una cuestión práctica, no teórica.

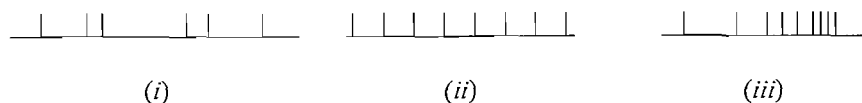


FIGURA 13.9. Una serie de marcas linealmente ordenadas, por caóticamente que sea, suministra una escala material ordinal (i). Un conjunto de señales ordenadamente espaciadas constituye una escala métrica material. Dos escalas métricas: uniforme (ii) y logarítmica (iii). La tercera es una proyección de la segunda por medio de la función logarítmica. Y ni la segunda ni la tercera son proyección de la primera.

Mediante la construcción de escalas materiales cada vez más finas pueden representarse intervalos numéricos cada vez más finos y, consiguientemente, pueden llevarse a cabo mediciones cada vez más precisas. Así, la división de un metro en 1 000 partes dará una escala más fina que la división de ese mismo intervalo en 100 partes. En general, una escala material asociada a una determinada magnitud será *más fina* que otra escala material asociada a la misma magnitud si y sólo si el conjunto de señales de la primera incluye el conjunto de señales de la segunda. Aunque la precisión de las mediciones puede perfeccionarse mediante la construcción de escalas cada vez más finas, y, al mismo tiempo, mediante la construcción de instrumentos más sensibles y estables para discriminar dichas señales, en cambio siempre quedará un lapso entre un intervalo Δr de una magnitud y la señal física m^* que le represente en la escala material: mientras que el intervalo numérico es un conjunto (un conjunto infinito si la magnitud es continua), la señal es un individuo; y mientras que la primera es una idea la segunda es un hecho.

Una escala métrica es incompleta si no se especifica su *cero* u origen: sin ello no sabremos a partir de dónde contamos, o, por lo menos, habrá siempre ambigüedad al respecto: por tanto, dos observadores serán incapaces de comparar y controlar sus resultados. La elección del cero de una escala depende de la magnitud y del cuerpo de conocimiento al que se apele. En el caso de la altitud, el tiempo y la temperatura empírica el origen es convencional. Podemos referir las alturas al nivel del mar, al centro de la tierra o a cualquier otra línea de base. Análogamente, el tiempo puede contarse a partir de cualquier acaecimiento de interés, por ejemplo, a partir del instante en que empieza el proceso o la observación tratada. Y el cero de las escalas de temperaturas empírica puede definirse como la temperatura a la cual ocurre tal o cual cambio claramente perceptible y fácil de reproducir, como la congelación (o la ebullición) del agua. En todos esos casos las escalas tienen *ceros relativos*, lo que quiere decir que se puede trasladar arbitrariamente los orígenes y que la elección se basa en la conveniencia práctica, no en la

teoría. En cambio, la longitud, la edad y la temperatura termodinámica se miden con escalas que arrancan de *ceros absolutos*, o sea, de orígenes que no pueden desplazarse arbitrariamente. Las longitudes se cuentan en la escala métrica $[0, \infty]$, porque, por definición, la longitud no es un número negativo. Las escalas de edad tienen que poseer un cero absoluto, que a veces se llama época fundamental, porque por definición la edad de x es el tiempo transcurrido desde que x empezó a existir, y x no recorrió tiempo alguno antes de nacer como tal x . Por último, la elección del cero de temperatura termodinámica se basa en la teoría física (clásica). En resolución: los ceros absolutos no son a nuestra elección, sino que dependen de condiciones y leyes que pertenecen a alguna teoría; en la mayoría de los casos coinciden con la desaparición de la propiedad correspondiente (desaparición entendida según algún cuerpo de conocimiento).

Para tener una escala métrica el cero es necesario, pero no suficiente. La escala seguirá siendo incompleta si no se adopta una unidad o intervalo básico (cf. fig. 13.10). La razón de esto es, naturalmente, que la realización de una medición se reduce a averiguar empíricamente cuántas *unidades* (o subunidades) entran en una cantidad dada. Por eso la

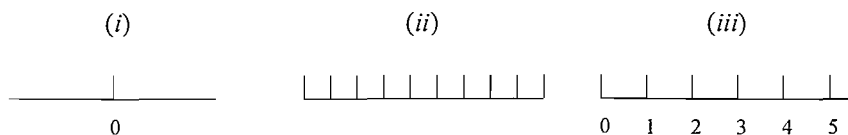


FIGURA 13.10. Una escala con cero, pero sin unidad (i). Una escala con unidad, pero sin cero (ii). Una escala métrica uniforme completamente especificada (iii).

adopción de una escala métrica para una magnitud implica una elección de unidad: elección del *concepto de unidad* para la escala conceptual y de un objeto físico patrón, o sea, una *unidad material*, para la escala material. Así, la hora es una unidad de tiempo representada en la mayoría de los relojes por un arco de 15° : la hora es la unidad conceptual y el arco es la unidad material. En la escala material la unidad puede ser un intervalo, espacial o no, entre dos señales dadas, como trazos o sonidos. La unidad no es necesariamente el intervalo más pequeño de la escala: el intervalo básico de una escala, el intervalo entre dos trazos sucesivos por ejemplo, puede representar una unidad, una subunidad o un múltiplo de la unidad básica. En cualquier caso, aun sin conocer cuál es la unidad de la escala, el operador puede atribuir cualquier número a la magnitud que está midiendo Y una vez aceptado un sistema escala-unidad, el grado r puede concebirse como el número de intervalos o unidades básicas de la magnitud dada. Esto da pie al modo corriente de expresar magnitudes, a saber

$$P = ru, \quad [13.6]$$

expresión en la cual u es el nombre de la unidad por la que se expresa la propiedad P . Este modo de escribir no tiene riesgos siempre que se tenga presente (i) que P no es un número, sino una función, (ii) que los argumentos de P son las variables de objeto, σ , y

las variables de escala, e , y (iii) que el producto ru es simbólico, porque u no es un número.

Convendremos, pues, en que la medición propiamente dicha —a diferencia de la cuantificación o medición— requiere una elección de unidades. (Puede esperarse un progreso espectacular en la psicología experimental en cuanto todos los prácticos de esta ciencia se den cuenta de ese hecho.) Pero antes de que podamos proponer una unidad para una determinada magnitud dada, tenemos que dar respuesta a dos preguntas: (i) ¿A qué familia pertenece nuestra magnitud, o sea, cuál es su dimensión?, y (ii) ¿Es una magnitud fundamental o derivada?

El primer problema surge por la variedad de magnitudes que son básicamente de la misma clase. La distancia, la altura, la profundidad y la longitud de onda no son sino diferentes aplicaciones del concepto de longitud: todas ellas pertenecen a la misma *familia de magnitudes*. Lo que caracteriza a esa familia es la dimensión común L . No había consciencia de esto cuando se utilizaba la braza junto con la yarda, y la onza junto con el pie cúbico. Para subrayar que dada una familia de magnitudes hay un concepto único que le sirve de base, y para eliminar así una fuente de confusión y pérdida de tiempo, se adopta en la ciencia una sola *unidad básica* para todos los miembros de una familia de magnitudes. Dicho de otro modo, hoy se sigue la siguiente *Convención*: Las magnitudes de misma dimensión se registran y miden con la misma unidad básica. La consecuencia metodológica de esta convención es obvia: hace falta un análisis de la dimensión de la magnitud de que se trate antes de determinar sus unidades. Si la magnitud es fundamental o simple, como la longitud o el tiempo, no hace falta tal análisis. Pero la mayoría de las magnitudes son derivadas o complejas: se introducen mediante fórmulas (empíricas o teóricas) que las vinculan con magnitudes fundamentales, y esas fórmulas suministran la base de un análisis dimensional. Así, la definición elemental de “velocidad” es “ $v =_{\text{def}} d/t$ ”, en la cual t es el valor numérico de la duración consumida por algo para cubrir la distancia d . Como la dimensión de d es L , o sea, $[d] = L$, y la de t es $[t] = T$, la dimensión de v es $[v] = [d] / [t] = L/T$. Análogamente, de la definición de la aceleración, “ $a =_{\text{def}} d/t^2$ ”, obtenemos $[a] = [d] / [t^2] = L/T^2$. La dimensión de la fuerza se averigua analizando la ley de Newton “ $f = ma$ ”; el resultado es: $[f] = [m] [a] = ML/T^2$.

En las ciencias naturales se adopta el principio de *homogeneidad dimensional*: los dos miembros de una ecuación cualquiera deben tener las mismas dimensiones. Esta regla de formación es ignorada o violada con frecuencia en las ciencias sociales, lo que da lugar a fórmulas carentes de sentido. Nuestra segunda tarea antes de proceder a la elección de unidades es la distinción entre magnitudes fundamentales y magnitudes derivadas, distinción que es relativa al contexto teórico. En mecánica, la longitud, la masa y la duración se toman como conceptos primitivos independientes y como *magnitudes fundamentales*, a base de las cuales se registra y mide cualquier otra magnitud. En otras ciencias se les añaden otras magnitudes fundamentales y, por tanto, unidades básicas, siempre que esas magnitudes no sean reducibles a las mecánicas: tal fue el caso de la temperatura en la termología y de la carga eléctrica en la electrodinámica. (Es instructivo intentar imaginarse cuáles serían las magnitudes fundamentales y, consiguientemente, las unidades básicas, para un ser racional desprovisto de masa. La mera idea de un campo inteligente, por infundada que sea, debe enseñarnos a no considerar que el estatuto de fundamentalidad

de que hoy día disfrutan ciertas magnitudes tenga sus raíces en la naturaleza y sea, por tanto, incorregible y definitivo.)

La elección de unidades es convencional en el caso de las magnitudes fundamentales, pero siempre consiste en adoptar alguna materialización del concepto dado. Así, por ejemplo, puede tomarse como unidad de longitud la longitud del pie del Rey, y como unidad de masa la inercia del Rey, y como unidad de duración el lapso mínimo entre dos estornudos del Rey. En los tres casos hay un procedimiento de *referición* o relación signo-objeto físico (cf. sec. 3.6). Más precisamente: se coordina un concepto con un objeto físico (cosa o hecho) convencionalmente elegido como *patrón* o unidad material. Este tipo de referición es la *referición coordinativa* de la sec. 3.6, y a menudo se concibe erróneamente como definición.

Se ha supuesto a veces que, como las unidades básicas de las magnitudes fundamentales se adoptan por convención, los valores medidos de las magnitudes físicas, y acaso también sus referentes, son arbitrarios y subjetivos. Y sin duda hay que afirmar esa conclusión si no se establece la distinción entre una propiedad y sus valores medidos. Pero si se acepta esta distinción —hecha en la sec. 13.2—, es fácil comprender que los valores medidos, a diferencia de las propiedades mismas, deben tener una componente convencional: en última instancia, las magnitudes no son rasgos de sistemas concretos, sino conceptualizaciones de rasgos tales. La longitud no es convencional, pero sí lo es la *elección de un patrón* de longitud (o de duración, o de masa), y, por tanto todo *valor medido* es convencional en la misma medida. Análogamente, la elección de un modo de representar los rostros humanos es convencional, pero los rostros mismos no lo son, salvo en un sentido valorativo de la palabra ‘convencional’ o sus equivalentes en algunas lenguas. *La siguiente ley de la *invariancia bajo cambios de unidad* expresa la objetividad de la propiedad concreta como distinta de su valores numéricos en los varios posibles sistemas de unidades:

$$P(\sigma) = r \ u = r' \ u' \quad [13.7]$$

Esa fórmula puede leerse así: la magnitud P , que representa una cierta propiedad de un objeto σ , es la misma expresada en unidades u o en unidades u' . Este postulado de objetividad se subsume bajo el axioma, más general, de covariancia, según el cual las propiedades y sus relaciones son independientes de las convenciones humanas. Consecuencia inmediata de ese postulado es la ley de conversión de unidades:

$$r' = r(u/u') \quad [13.8]$$

o sea: si el número de una propiedad expresado en unidades u es r , entonces la expresión numérica de esa misma propiedad en unidades u' es igual al anterior número multiplicado por el *factor de conversión* u/u' . El factor de conversión implicado por la igualdad “100 cm = 1 m” es $u/u' = 1/100$, y el factor de conversión que nos permite pasar de segundos a minutos es $1/60$. Las conversiones de unidades serían ilegítimas si no se aceptara el postulado de objetividad [13.7].*

Los patrones, o sea, las unidades materiales de las magnitudes fundamentales, se eli-

gen convencional, pero no arbitrariamente: tienen que ser suficientemente precisos, constantes y fáciles de reproducir, para que sean posibles comparaciones objetivas a través del tiempo y del espacio. Por eso una cierta barra de metal (el metro patrón) sustituyó a los varios pies medievales, y, más tarde, una determinada longitud de onda sustituyó a su vez a la barra metálica citada. Análogamente se elaboraron patrones de tiempo, masa, voltaje y otras magnitudes. Todo país progresado tiene una oficina de patrones dedicada a la preservación, la producción y el refinado de unidades materiales o patrones. En algunos casos la naturaleza misma, por así decirlo, suministra unidades constantes y repetibles. Así, por ejemplo, la masa y la carga del electrón y la velocidad de la luz en el vacío funcionan como unidades “naturales” en la física atómica. Y si el espacio físico tuviera un radio de curvatura constante, ésa sería la unidad natural de longitud. No hará falta decir que esas unidades satisfacen la condición de constancia mejor que los patrones hechos por el hombre, pero, por lo común, suplementan, y no constituyen, a estos últimos, porque no siempre se encuentran a escala humana. Así, por ejemplo, no sería más práctico medir la carga presente en un condensador por el procedimiento de compararla con la carga del electrón que medir distancias geográficas en fermis ($1 \text{ fermi} = 10^{-13} \text{ cm}$) o dibujar áreas de terreno tomando como unidad el barn ($1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$).

Una vez determinada una unidad de medición mediante la elección de un patrón material, la medición de cualquier valor de la magnitud correspondiente —por ejemplo, la medición de la duración de una magnitud— puede entenderse como la comparación de la cantidad dada con la unidad representada por el patrón. Las mediciones de este tipo suelen llamarse absolutas, y todas las demás comparativas. (Otras veces se llama absoluta a una medición si se reduce a la medición de magnitudes geométricas y mecánicas.) Pero todos esos nombres son poco afortunados, porque toda medición supone comparación y porque las unidades básicas son convencionales; sería mejor usar los nombres de *medición con patrón y sin patrón*.

Una vez elegida una unidad básica y construida una materialización de la misma, pueden conseguirse a voluntad múltiplos y submúltiplos de una y otra por multiplicaciones y divisiones sucesivas por un número dado. De este modo se produce un *sistema de unidades* no un mero conjunto de unidades. Si el factor de conversión es 10, se desarrolla un sistema métrico decimal. En mecánica suelen adoptarse el centímetro, el gramo y el segundo como unidades básicas en base a las cuales se construyen todas las demás unidades de las mismas magnitudes fundamentales: por eso se habla del sistema CGS. En la ingeniería eléctrica se utiliza normalmente el sistema de unidades básicas MKSA (metro, kilogramo, segundo, amperio).

La adopción de un sistema de unidades básicas para las magnitudes fundamentales de una disciplina determina unívocamente las unidades de las magnitudes derivadas. Esto no tiene lugar en un vacío teórico, sino por medio de definiciones y de enunciados legaliformes que pertenecen a alguna teoría. Así, por ejemplo, la unidad de velocidad se introduce sobre la base de la definición “ $v = d/t$ ”, y depende de la elección de las unidades de distancia y duración. Y la unidad de fuerza se introduce generalmente sobre la base de la ley de Newton “ $f = ma$ ”, a saber: la unidad de fuerza, llamada dina, es la fuerza que imprime una aceleración unidad (1 cm/sec^2) a un cuerpo de masa unidad (1 g); o sea: $1 \text{ dina} = 1 \text{ g-cm/sec}^2$. Obsérvese que ‘dina’ es el *nombre* de una unidad de fuerza, no esta

unidad misma, la cual es la fuerza cuyo valor numérico es unidad en el sistema CGS. Obsérvese también que los nombres de unidades se tratan como si fueran números, aunque no lo son. Por ejemplo, la unidad de presión, o microbar, se define así: $\text{microbar} = \text{dina/cm}^2 = \text{g-cm/sec}^2\text{-cm}^2 = \text{g-cm}^{-1}\text{-sec}^{-2}$. En general, las unidades derivadas se obtienen por multiplicación o división de las magnitudes básicas o fundamentales sin introducir factores numéricos, y usando fórmulas teoréticas (definiciones o enunciados de leyes). El conjunto de unidades básicas y unidades derivadas que se obtiene de ese modo es un *sistema coherente de unidades*. Los sistemas CGS y MKSA son sistemas coherentes de unidades, mientras que el conjunto {cm, lb, sec} es incoherente.

Para fines prácticos pueden, como es natural, construirse patrones materiales de unidades derivadas, y así también pueden añadirse referencias de unidades derivadas a su especificación en contextos teoréticos. Pero desde un punto de vista fundamental esas referencias no son imprescindibles. En rigor, sólo las unidades básicas de las magnitudes *fundamentales* tienen que introducirse por referencias de tipo coordinativo, porque no se basan en conceptos anteriores. Dicho de otro modo: los patrones (unidades materiales) no se necesitan más que para la medición de propiedades denotadas por conceptos indefinidos. A su vez, sólo la investigación básica o de fundamentos puede determinar qué conceptos de una teoría son primitivos o fundamentales y cuáles no.

Las unidades, y esto vale incluso para las de las magnitudes fundamentales, no aparecen en un vacío científico: la concepción de una nueva unidad puede requerir considerable conocimiento sustantivo, y su propuesta puede suscitar controversias intensas. Es claro que las discusiones sobre las ventajas de los varios sistemas de unidades no se refieren a su verdad: ningún sistema de unidades puede poseer verdad, porque ninguno es un sistema de enunciados, aunque presuponen tales sistemas (esto es, teorías). Pero aquellas controversias no carecen de sentido: un sistema de unidades debe ser (i) *coherente*, en el sentido de que todo elemento del mismo tiene que ser fundamental o derivado a partir de unidades fundamentales por multiplicación o división; (ii) *teóricamente conveniente*, o sea, adecuado para la discusión teórica, y (iii) *prácticamente conveniente*, o sea, adecuado para fines experimentales y/o tecnológicos. Mientras que la coherencia debe exigirse de todo sistema de unidades, es prácticamente imposible que un sistema satisfaga de un modo pleno los desiderata en conflicto (ii) y (iii), o sea, que satisfaga simultáneamente las necesidades del científico teórico y del científico de aplicación, mientras que el ingeniero tendrá la preferencia contraria, y cada uno de ellos con sus buenas razones. Pero ninguno de ellos elegirá el sistema palmo-onza-rato: las convenciones no tienen por qué ser absurdas.

Dos ejemplos aclararán la cantidad de conocimiento exigida para introducir una unidad. Primer ejemplo: supongamos que deseamos medir la farsantería, ese curioso esquema de comportamiento animal. Si nos inclinamos por soluciones operativistas, empezaremos por elegir un determinado patrón de farsantería; podemos, por ejemplo, tomar un farsante notable—supongamos que se llame Farcía—y estipular que él, o más bien su comportamiento peculiar, servirá como unidad de farsantería: el *farcía*. Pero aun teniendo ya el *farcía*—o alguna subunidad más práctica, como el milifarcía—seguimos sin poseer una escala completa de la farsantería, porque no hemos estipulado cuál es el cero de la escala de farsantería. Y no podremos decidir ese cero mientras no nos formemos un

concepto claro de farsantería, lo cual exige a su vez elaboración de algún fragmento de teoría sobre la misma. Por tanto, concluimos que más nos habría valido hacer las cosas al revés, empezando por la construcción de una teoría cuantitativa de la farsantería. En esa teoría es posible que la farsantería se tratara como magnitud derivada –salvo que se tratara de una teoría fenomenológica –y así los problemas del cero y la unidad de la escala de la farsantería se convertirían en los problemas del cero y la unidad de las escalas de las magnitudes fundamentales, como la ambición, la deshonestidad y la incompetencia. Supongamos entonces que esa imaginaria teoría se basara en un conjunto de postulados que relacionaran los conceptos, independientes entre sí, de ambición, A , incompetencia, I , y deshonestidad, D , todos ellos métricos. Supongamos además que las escalas de A , I y D fueran todas escalas métricas uniformes con un campo que abarcara de 0 a 1. Las unidades de ambición, incompetencia y deshonestidad se introducirían por referición, puesto que los conceptos serían primitivos en la teoría. Supongamos que nos decidimos por César, Nerón y Cicerón como unidades materiales o patrones de ambición, incompetencia y deshonestidad, respectivamente, y que llamamos entonces a los conceptos correspondientes el *césar*, el *nerón* y el *cicerón*. Entonces podemos introducir el concepto de farsantería en la teoría por medio de la definición: $F =_{df} A \cdot I \cdot D$, o sea, en prosa: la farsantería es igual a la ambición por la incompetencia por la deshonestidad. La farsantería mínima correspondería entonces a la ambición cero, o a la competencia máxima, o a la honestidad máxima (o sea: si $A = 0$, o $I = 0$, o $D = 0$, entonces $F = 0$). Y la farsantería máxima correspondería a $A = I = D = 1$. Por tanto, la farscía sería una unidad derivada, del modo siguiente: farscía = césar-nerón-cicerón. Nuestro ejemplo de teoría es, realmente, una farsa, pero en cualquier caso lo importante es que hay que introducir el *concepto* de una unidad antes de construir una materialización adecuada o patrón; y ello particularmente en el caso de las magnitudes derivadas. Segundo ejemplo: antes de que se inventara la teoría de la información, la búsqueda de una unidad para medir el contenido en información de los mensajes parecía cosa tan imposible como la introducción de una unidad de farsantería. Habría podido pensarse en medir el contenido de información por el número de signos, o por el tiempo requerido para entender la información o por la longitud total del trabajo de clave necesario para descifrar el mensaje, etc. La adopción del *bit*, o elemento mínimo de información, se basó en una determinada fórmula teórica ($I = \log_2 n$, siendo n el número de signos simples empleados en la comunicación), la cual era a su vez expresión cuantitativa de la idea de que sólo puede decirse que tiene lugar una transmisión de información cuando la incertidumbre o la ignorancia del receptor disminuyen como consecuencia del proceso (cf. sección 1.3). Entonces se adoptó naturalmente como unidad de información –el *bit* (literalmente: trocito)– la cantidad mínima de información necesaria para eliminar la incertidumbre en la situación más simple, a saber, aquella en la cual con anterioridad a la recepción del mensaje había habido dos posibilidades igualmente probables, como el sexo de un niño recién nacido.

Detengámonos ahora un momento para recoger los varios puntos que hemos ido considerando. Son los siguientes: (i) el *mensurandum*, o propiedad de sistema concreto que deseamos medir; el mensurandum procede de la naturaleza o de la sociedad, pero son a menudo teorías las que sugieren su existencia; (ii) un claro *concepto* cuantitativo (métrico) del mensurandum, o sea, la magnitud que se supone representa la propiedad objetiva;

en la medida de lo posible, este concepto debe estar sumido en alguna teoría científica y debe analizarse lógicamente a base de variable(s) de objeto y variable(s) numéricas(s), con objeto de no perder de vista algún aspecto relevante; (iii) una *escala conceptual* y una *escala material* sobre las cuales puede registrarse o medirse la magnitud; la escala, si es métrica, tendrá una señal privilegiada, el origen o cero, y (iv) una *unidad* de medición que pertenezca a algún sistema de unidades coherente.

Esos cuatro elementos son necesarios, pero no suficientes, para emprender una operación de medición: tenemos que arbitrar una técnica de medición y proyectar y construir un equipo de medición. A esa tarea atenderemos ahora.

Problemas

13.4.1. Estudiar el problema de la elección de una escala conceptual y una escala material para alguna magnitud no ejemplificada en el texto. *Problema en lugar de ése*: Examinar los problemas de escala que surgen a propósito de la introducción de temperaturas negativas absolutas. Tener en cuenta que si se realiza esa ampliación de la escala, deja de ser preservadora del orden la proyección de los estados térmicos sobre los números: efectivamente, las temperaturas negativas corresponden entonces a los cuerpos más calientes, no a los más fríos; a un cuerpo “infinitamente caliente” se le atribuye una temperatura negativa, y si se le enfría su temperatura saltará hasta un alto valor positivo, el cual puede, a su vez, ir disminuyendo hasta aproximarse a cero.

13.4.2. Un conjunto de grados de una propiedad se proyecta sobre un conjunto de números de tal modo que todo miembro del primer conjunto tiene una sola imagen numérica. Por otro lado, el valor medido de una magnitud es él mismo un conjunto (un intervalo) si se añade el error (más o menos σ) al valor central m ; por tanto, un conjunto de valores medidos es un conjunto de conjuntos. ¿Cuáles son las correspondencias entre este último conjunto y (i) el conjunto de los valores reales y (ii) el conjunto de las señales de la escala? *Problema en lugar de ése*: según la termodinámica, es imposible enfriar un cuerpo hasta el cero absoluto. A pesar de eso se estiman los valores de varias magnitudes a esa temperatura y, además, el origen de la escala de temperatura termodinámica es precisamente 0°K. O sea, se hace en termodinámica la hipótesis de una temperatura absoluta objetiva cero, y esa hipótesis subyace a las mediciones de temperatura; pero, al mismo tiempo, se muestra en esa ciencia que el cero absoluto es empíricamente inalcanzable. Resolver esa compleja situación.

13.4.3. Los psicólogos hablan habitualmente de *escalas de medición*, entendiendo por ello lo que los científicos naturales llaman ‘magnitudes’, ‘variables’ o ‘cantidades medibles’. Por ejemplo, los psicólogos llaman *escalas ordinales* a magnitudes ordinales, como la dureza. ¿Tiene alguna ventaja ese uso de los psicólogos? En cambio, las mediciones de los psicólogos son notoriamente débiles por lo que hace a sus sistemas de unidades. ¿Por qué? *Problema en lugar de ése*: ¿Dependen de la elección de escala la significación y el valor veritativo de las construcciones científicas?

13.4.4. ¿Se preocupa la geometría por fijar una unidad de distancia? ¿Fija la mecánica teórica la unidad de masa? ¿Sugiere la física atómica unidades naturales? ¿Sería posible y deseable introducir un sistema de unidades basado en la física atómica?

13.4.5. Suelen usarse dos unidades básicas de tiempo independientemente la una de la otra: el segundo solar medio y el segundo de las efemérides o tablas astronómicas. Los relojes corrientes “dan” el tiempo solar medio, y las mediciones de posición por los agrónomos o los marinos se basan en el tiempo solar medio; en cambio, los astrónomos usan los otros segundos, porque el segundo solar medio no es exactamente el mismo todos los años (o sea, porque el movimiento de

la Tierra no es completamente regular). Comentar esa dualidad. *Problema en lugar de ése*: Examinar los procedimientos para establecer patrones o criterios de tiempo y sus peculiares dificultades dimanantes de la inmaterialidad y la difícil accesibilidad del tiempo

13.4.6. Basándose en que la unidad de velocidad es igual a la unidad de distancia partida por la unidad de duración, muchos libros de texto infieren que el *concepto* de velocidad puede definirse como la distancia por la unidad de duración, o hasta como “el espacio recorrido en la unidad de tiempo”. Examinar esa inferencia. *Problema en lugar de ése*: Del hecho de que los enunciados legaliformes son *invariantes respecto* de las conversiones de unidad se sigue que para fines teóricos no hay necesidad de atenerse a ningún sistema de unidades; por esta razón no hemos discutido el problema de las unidades hasta este momento. ¿Se sigue de ello que todo el lenguaje de la ciencia ignore el problema de las unidades y carezca de ellas?

13.4.7. Examinar la propuesta de adoptar el *darwin* como la unidad de la tasa de evolución. Cf. J. B. S. Haldane, *Evolution*, 3, 51, 1949.

13.4.8. ¿Están las magnitudes fundamentales relacionadas con la posibilidad de “definirlas” de un modo operacional? Dicho de otro modo: la identificación de una magnitud como fundamental o derivada, ¿depende del modo de medirla o de su lugar en alguna teoría científica?

13.4.9. N. R. Campbell, en su influyente obra *Foundations of Science*, 1919, Nueva York, Dover, 1957, llamó *magnitudes fundamentales* a aquellas “cuya medición no depende de ninguna otra magnitud”. ¿Puede entonces afirmarse la fundamentalidad fuera de todo contexto teórico? ¿Y son las mediciones más precisas de la longitud, la masa y la duración (magnitudes fundamentales) fundamentales de hecho en el sentido de Campbell (o sea, fundamentales en el sentido de ser simples, directas, o reducibles ulteriormente)?

13.4.10. Investigar el álgebra de las dimensiones y unidades, problema dejado de lado por los científicos que las usan diariamente. Véase M. Bunge “A mathematical theory of the dimensions and units of physical quantities”, en M. Bunge (ed.), *Problems in the Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1971.

13.5. TÉCNICAS

Las técnicas de medición son uno de los rasgos distintivos de la ciencia moderna. Dependen de la naturaleza del mensurandum, del conocimiento disponible, de los requisitos o exigencias de precisión y de la inteligencia y la habilidad del operador. Es claro que las técnicas de medición dependen primariamente de la naturaleza del mensurandum en su relación con observadores humanos: una cosa es medir distancias accesibles, otra completamente distinta medir distancias interatómicas o interplanetarias. Aunque en los tres casos se supone el *mismo concepto* de distancia, los procedimientos para medir sus valores numéricos son muy diferentes: en el caso de los cuerpos que pueden manejarse directamente, el valor medio puede leerse con una escala material del tipo de la regla, mientras que en el caso de cuerpos prácticamente inaccesibles se miden en realidad magnitudes relacionadas con ellos, y el mensurandum se averigua con la ayuda de fórmulas. Hay aquí una primera dicotomía que tiene su alcance epistemológico: las mediciones pueden ser directas o indirectas.

Una *medición directa* se realiza comparando el mensurandum con un patrón o con las unidades de una escala material, y contando el número de veces que la unidad está con-

tenida en el mensurandum. Problema epistemológicamente interesante es en este caso el suscitado por la coordinación o congruencia entre el mensurandum y las marcas presentes en la escala material. Supongamos que la longitud del cuerpo se mide por el procedimiento de ir colgando varios metros rígidos uno tras otro. Desde el punto de vista semántico, este procedimiento consiste en establecer correlatos o interpretaciones materiales de los signos aritméticos '+' e '=': el primero corresponde a la yuxtaposición física ($\dot{+}$) y el segundo a la congruencia física o coincidencia ($\dot{=}$).

Se supone, además, que el modelo material satisface las leyes de la aritmética así interpretadas. Por ejemplo: se da por supuesto que la yuxtaposición de metros materiales, o varas de medir, es conmutativa ($x \dot{+} y \dot{=} y \dot{+} x$) y que las longitudes no se alteran en el proceso de medición ($L(x \dot{+} y) = L(x) + L(y)$). También se supone que los resultados de esas operaciones son independientes del espacio y del tiempo; en particular, que no dependen de la orientación de los cuerpos. Pero todos esos supuestos son *hipótesis físicas* muy específicas que pueden ser falsas. Puede, por ejemplo, ocurrir que el espacio o, al menos, la región del espacio en que se practica la medición, no sea isotrópica, sino que las longitudes dependan de la orientación, tal como efectivamente ocurre en el caso de las dimensiones de una varilla de zinc situada en un campo de ondas ultrasónicas. También puede ocurrir que las varas de medir se compriman o dilaten por el proceso de yuxtaposición. Los supuestos en cuestión pueden en principio ponerse a prueba, y entonces se averigua que quedan muy satisfactoriamente realizados por los cuerpos rígidos, aunque no por otros flexibles como tallos de hierba, etc. Pero, dejando aparte el complicado problema de la existencia de cuerpos perfectamente rígidos, lo importante es que al realizar una medición de longitud estamos admitiendo tácitamente unos cuantos supuestos: algunos de ellos se refieren a la naturaleza de los cuerpos afectados (en particular, a los instrumentos de medición) y otros se refieren a la materia y al espacio-tiempo en general. Dicho brevemente: las operaciones empíricas y, en particular, las mediciones no pueden considerarse como un punto de partida absoluto para la construcción de la ciencia, porque presuponen cierto número de hipótesis.

En las secciones anteriores se arguyó —y se ilustró insistentemente con el ejemplo de la medición de la duración— que la medición presupone unos cuantos elementos de teoría, al menos si uno desea saber qué está midiendo y con qué precisión. En el caso de la medición de la duración, la clase de congruencia utilizada es la simultaneidad. La simultaneidad de acaecimientos perceptibles y especialmente próximos se establece fácilmente, pero la de acaecimientos distantes no se puede establecer sino haciendo por lo menos la hipótesis de que las señales utilizadas para establecer un orden temporal se propagan a velocidad finita que no depende ni de la región del espacio-tiempo ni de la dirección en que se propagan. La teoría especial de la relatividad, tantas veces aclamada como un ejercicio de operativismo puro, empezó en realidad por presuponer la teoría maxwelliana de las señales luminosas y por construir una definición del concepto de simultaneidad en concordancia con dicha teoría, y en discrepancia con las prácticas de medición dominantes en la época que presuponen la teoría física clásica.

Otra cuestión interesante relacionada con la medición directa es el problema de si —en el caso de los sistemas empíricamente accesibles— el ángulo, la longitud, el tiempo y el peso son directamente medibles porque son directamente observables. Si así fuera, la

medición directa sería simplemente observación exacta. Pero ése no es el caso: lo que observamos no es la longitud de un cuerpo, sino el cuerpo dado —o, por mejor decir, su exterioridad— y un cuerpo patrón o alguna escala material. Al medir observamos la relación de coincidencia o congruencia entre las terminaciones del lado medido y ciertas señales de la escala de la varilla medidora.

Lo observable son sistemas concretos —cosas, acaecimientos y procesos—, no sus propiedades aisladas; por otro lado, nunca se mide una cosa: lo medible es exclusivamente alguna propiedad de las cosas.

Atendamos ahora a la *medición indirecta*, esto es, a la medición que supone medición directa (de algo que no es lo medido) y cómputo. Consideremos el problema consistente en medir la distancia respecto de un punto que se encuentra al otro lado de un lago. (Cf. fig. 13.11.)

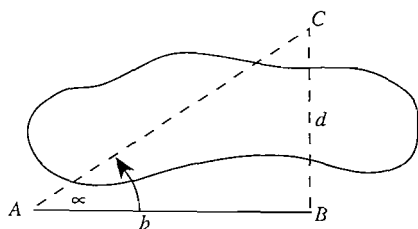


FIGURA 13.11. Medición de la distancia a un punto inaccesible.

Empezamos por construir un triángulo rectángulo formado por una base cualquiera, b , trazada en el suelo en que nos encontramos, y los rayos de luz que van del punto inaccesible C a las extremidades A y B de la base, rayos que son, naturalmente, los que nos informan de la existencia de alguna cosa en C . Nuestro triángulo es físico, no matemático: los “puntos” A , B , C son cuerpos extensos, y los “lados” son también sistemas materiales. Luego medimos la longitud b de la base y el ángulo α formado por la base y la “línea” AC ; la primera medición se hace con una cinta métrica y la segunda con un goniómetro. De los datos b y α más la geometría elemental podemos inferir el valor de la incógnita d . Para ello formulamos el supuesto de que nuestro triángulo físico es un modelo material de un triángulo matemático euclídeo, o, más bien, que es una realización de éste suficientemente satisfactoria. Suponemos también que nuestros valores medidos son lo suficientemente próximos a los reales, o sea, que el triángulo empírico formado en el proceso de medición coincide satisfactoriamente con el triángulo físico. Los dos supuestos son aproximadamente verdaderos en el mejor de los casos, nunca exactamente verdaderos: puede siempre concebirse un procedimiento de medición más fino (incluso con la misma técnica) por el cual se consiguiera una adecuación más exacta entre los tres triángulos; también, por otra parte, habría podido usarse una geometría no-euclídea para triángulos de dimensiones cósmicas. En cualquier caso, el hecho es que admitimos ciertos supuestos que nos imponen la adopción de unos elementos de geometría física como subyacentes a nuestra técnica de medición. Luego introducimos los datos de la medición en esa porción de geometría, del modo siguiente: calculamos la distancia buscada d me-

diante la fórmula " $d = b \operatorname{tg} \alpha$ ", utilizando una tabla para hallar el valor de $\operatorname{tg} \alpha$ para el valor de α hallado por medición. En todos los casos introducimos en las fórmulas los mejores valores obtenidos por medición, o sea, los valores medios, y no el par completo (media, error).

Los ángulos, las longitudes, las duraciones y los pesos son directamente medibles en muchos casos, es decir, pueden medirse comparándolos con unidades de escalas materiales o con patrones. Así, la duración puede medirse contando las oscilaciones de un sistema oscilante, adoptado como patrón del tiempo. Pero las mediciones directas son la excepción en la ciencia pura, no la regla. Además, para fines de registro o protocolo es conveniente reducir toda medición a mediciones de ángulo y/o longitud. Esta reducción se hace por medio de determinadas fórmulas que vinculan las varias magnitudes no-geométricas con ángulos y longitudes. En particular, enunciados de esa clase pueden establecer relaciones entre magnitudes no observables y ángulos y longitudes observables. Dicho de otro modo: los enunciados legaliformes y las definiciones son de uso frecuente en las mediciones como objetificadores de propiedades y relaciones no-observables; por medio de tales fórmulas de leyes se construyen las escalas materiales de los instrumentos eléctricos.

Ejemplo 1. Puede hacerse que la duración de un proceso corresponda al cambio de posición de una aguja en la escala de un cronómetro. En este caso se utiliza la relación lineal " $t = k\alpha$ " entre los tiempos y los desplazamientos regulares. La indicación deja de ser correcta si la relación falla, como ocurre con los relojes estropeados o con las revoluciones de nuestro planeta alrededor del Sol, las cuales satisfacen una ley más complicada. *Ejemplo 2.* Las mediciones más corrientes de la temperatura se basan en la dependencia respecto de la temperatura en que se encuentran los tamaños de ciertos cuerpos especialmente sensibles a los cambios de temperatura, como el mercurio y el alcohol. También en este caso se supone la vigencia de una relación lineal entre la longitud y la temperatura de la sustancia termométrica, relación que objetifica la temperatura. Es claro de nuevo que esta relación está muy lejos de ser fruto de una posición convencional: es un enunciado legaliforme parcialmente verdadero que deja de serlo más allá de ciertos intervalos limitados. *Ejemplo 3.* La intensidad de una necesidad o estímulo como el hambre puede medirse por la cantidad de jugo gástrico segregado por el sujeto a la vista de alimentos. A su vez, la cantidad de jugo gástrico puede expresarse como volumen y, por último, las mediciones de volumen pueden reducirse a mediciones de longitudes en tubos de sección constante conocida.

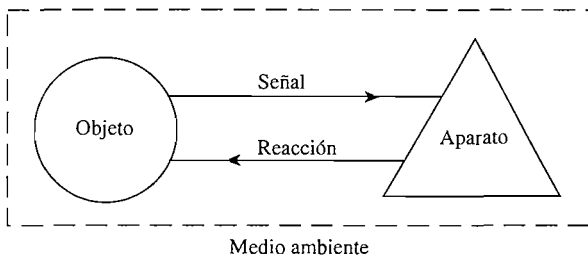
¿Por qué se eligen corrientemente ángulos y longitudes como variables independientes para la medición, y no, por ejemplo, duraciones y pesos? No parece haber para ello más razón sino el hecho accidental de que el sentido humano más agudo es la vista. Podría haber seres racionales no humanos que dispusieran de una percepción más aguda de la duración o hasta de la carga eléctrica, que del tamaño y la forma. La posición central del ángulo y la longitud en la medición no parece deberse a ninguna prioridad ontológica o fundamentalidad física del espacio, sino a un rasgo de nuestro aparato perceptual; pero esta conjetura puede resultar también falsa. Algunas magnitudes no están relacionadas con las geométricas por medio de enunciados de leyes presentes en alguna teoría fundamental, por lo que las fórmulas disponibles serán insuficientes para fines de medición.

Por ejemplo, la teoría del circuito eléctrico suministra fórmulas que relacionan el voltaje con la corriente de un circuito, pero ninguna de esas magnitudes es geométrica y, consiguientemente, esa teoría “carece de significación operativa”, cualquiera que sea el sentido de esta expresión entrecomillada. Si deseamos medir tales magnitudes, tenemos que buscar enunciados de leyes que contengan el mensurandum y alguna magnitud geométrica. Tal es la tarea del *diseño de instrumentos*.

Supongamos que queremos medir la intensidad de una corriente eléctrica, que es un caso típico de inobservable. No lo conseguiremos por el simple procedimiento de observar el circuito en el cual está la corriente: tendremos que construir antes un efecto observable de la corriente sobre algún sistema que no sea el circuito mismo. Dicho de otro modo: tenemos que construir una *interacción* entre el sistema sometido a medición y algún expediente de medición, para que el primero pueda modificar el segundo de un modo observable. En el caso de la corriente eléctrica, se conocen sistemas que pueden servir de indicadores de lo que ocurre en el circuito: por ejemplo, una aguja magnética, porque las corrientes eléctricas están envueltas en campos magnéticos que entran en interacción con imanes. Más precisamente: el desplazamiento angular de una aguja magnética será un indicador objetivo de la intensidad de la corriente. La relación precisa entre las dos variables se establece en la teoría de la medición eléctrica.

Tienen que cumplirse ciertas condiciones para que el desplazamiento de la aguja constituya un indicador objetivo *fiable* de la corriente eléctrica. En primer lugar, la aguja y, en general, el instrumento de medición, debe recoger la señal interesante sin interferencia apreciable del resto del mundo y, en particular, sin intervención del operador: si así no fuera no estaríamos midiendo lo que deseamos medir, sino alguna otra cosa mucho más compleja. Para concentrar la medición sobre el mensurandum y minimizar las perturbaciones externas debemos empezar por aislar el complejo objeto-instrumento. Por ejemplo: encerraremos nuestros instrumentos eléctricos en una pantalla de Faraday, o colocaremos nuestro perro en una jaula de observación de las de Pavlov. En todo caso, nuestro instrumento registrará el resultado de su interacción con el objeto medido y con el resto del mundo, y por eso debemos proyectar el dispositivo de tal modo que la segunda interacción resulte despreciable respecto de la primera (cf. fig. 13.12). Si nuestro aparato carece de dispositivos de maniobra y registro automáticos, nos veremos obligados a practicar la lectura mientras está en curso la interacción, corriendo el riesgo de perturbar el objeto de un modo imprevisible y, consiguientemente, el de adulterar el resultado. Ésa es

FIGURA 13.12. El aislamiento parcial del complejo objeto-instrumento de medición del resto del mundo. La pantalla aisladora (línea punteada) tiene que reflejar o absorber la mayor cantidad posible de señales externas.



una de las razones por las cuales se prefieren los instrumentos completamente automáticos. En todo caso, las mediciones exactas no son un caso especial de la interacción sujeto-objeto: el sujeto conocedor no es sin más algo que perturba la interacción objetiva objeto-aparato, sino también el que la establece y el que interpreta su resultado. En el caso ideal, el observador entra en juego cuando ya se ha consumado la interacción, para recoger e interpretar los signos dejados en el instrumento por su interacción con el objeto. Por tanto, el objeto de la epistemología no es el objeto de la medición, sino el entero complejo objeto-instrumental de medición.

Otra condición que debe cumplir la proyección ideal de instrumentos es que la *reacción* del aparato sobre el objeto sea despreciable o calculable. En el caso de las mediciones de la corriente eléctrica, los movimientos de la aguja magnética inducirán una corriente nueva en el circuito, la cual producirá a su vez un pequeño desplazamiento angular de la aguja. Esperamos que esa corriente adicional sea muy pequeña comparada con la inicial, o, al menos que sea calculable esa parte del efecto, de tal modo que podamos inferir el valor de la corriente inicial *cuando no se la está midiendo*. En realidad, ese valor real y sin perturbar no puede conseguirse mediante mera medición, sino sólo con la ayuda de la teoría. Todo experimentador tiene en cuenta la perturbación e intenta atribuirle un determinado valor numérico. En el caso de las mediciones eléctricas con instrumentos más finos que la modesta aguja magnética, se mide por separado la resistencia eléctrica interna del aparato y se la tiene en cuenta para corregir el valor medido. En general, podemos decir que el efecto original se distribuye entre el efecto medido y la perturbación de medición, y que una buena concepción del instrumento minimiza la perturbación y da medios para estimarla. Llamando $m(E)$ al resultado bruto de la medición y ΔE a la perturbación por medición —o sea, la fracción de corriente que se disipa en el amperímetro—, podemos decir que el valor real del efecto es $E = m(E) + \Delta E$. Para un empirista estricto sólo tiene sentido $m(E)$, mientras que E y ΔE son excrecencias metafísicas. El hecho de que los científicos son muy agudos y tenaces en la práctica de correcciones de ese tipo, y el de que adoptan los valores corregidos E , y no los valores $m(E)$, indica que no practican (piensen lo que piensen) una filosofía empirista de los procedimientos empíricos.

*Las mediciones microfísicas plantean problemas que desbordan las fronteras de este libro. Nos limitaremos a lo que sigue. Hay mediciones invasivas y no invasivas. Las primeras alteran el valor de la variable que se mide, cosa que no hacen las segundas —pese a lo cual éstas son ignoradas por casi todos los autores. La alteración en cuestión se debe a la acción del instrumento de medición sobre el objeto que se mide. Este efecto puede ser enorme. Por ejemplo, al intentar medirse la posición de un electrón se lo comprime, lo que a su vez da como resultado el que su momento se torna borroso. (Éste es el teorema de indeterminación, de Heisenberg: $\Delta x \cdot \Delta p \geq 2 \hbar/2\pi$, donde Δx y Δp son las varianzas de la posición y del momento respectivamente, y $\hbar$ es la constante de Planck.) Esto plantea un problema filosófico que se viene discutiendo desde 1925: el de si la medición de la posición crea tanto esta propiedad como su dispersión, o bien éstas existían antes. Si lo primero ¿es ésta obra del experimentador, o incluso de su mente, o puede darse también en la naturaleza, de resultados de una interacción macro-micro? La escuela de Copenhague es subjetivista, puesto que sostiene que toda propiedad surge al conjuro del experimentador: que no existen cosas en sí, sino sólo cosas para el sujeto que conoce. (Los clasicistas,

que también son realistas, creen que el electrón tiene propiedades clásicas, tales como una posición precisa, que precede a su medición.) Esta interpretación es falsa, como lo muestra el hecho de que el teorema de Heisenberg se deduce sin hacer suposición alguna sobre instrumentos ni observadores: la relación recíproca entre las dispersiones de la posición y el momento es una ley natural que preexiste a la física. O sea, normalmente la posición y el momento del electrón son imprecisos o borrosos, pero el ancho de estas dispersiones puede cambiar cuando el electrón interactúa con un sistema macrofísico, sea natural o artificial. (Más precisamente, si se axiomatiza la mecánica cuántica se advierte que sus axiomas no contienen ninguna referencia a experimentos ni observadores: es una teoría puramente física. Si se refiriese a observadores, daría cuenta de sus procesos mentales y condiciones presupuestarias.) Esta interpretación fue confirmada en 1981 por los experimentos de A. Aspect y otros, los que refutaron la hipótesis de que hay variables dinámicas “ocultas”, o sea, carentes de dispersión. Curiosamente, se afirmó que estos experimentos refutaron el realismo, cuando de hecho sólo refutaron la visión clasicista. En efecto, todo experimento presupone el realismo, ya que maneja cosas, tales como electrones e instrumentos de medición, cuya existencia objetiva no se pone en duda. En resumen, el realismo científico no ha sido afectado por la teoría cuántica ni por la experimentación. Lo que ha ocurrido es que la primera fue interpretada incorrectamente a la luz del neopositivismo. Moraleja: el filósofo que toma parte activa en controversias científicas puede contribuir al avance o al retroceso de la ciencia.*

El tercer requisito que debe cumplir un buen diseño de instrumentos es el basarse en supuestos precisos sobre la relación entre el mensurandum y el efecto observado, y, más precisamente, supuestos que estén razonablemente confirmados. Supongamos que un proyectista de instrumentos sostiene que un aparato diseñado por él “define” la humedad. Se le preguntaría entonces: ‘¿Cómo podemos saber que su instrumento mide efectivamente lo que usted dice?’ Si el proyectista no puede ofrecer una *teoría independientemente contrastada* que explique por qué su aparato mide efectivamente la humedad, y no la timidez, por ejemplo, se le considerará no un físico, sino a lo sumo un aficionado a practicar experimentos psicológicos con quienes le oyen. Éste es, en todo caso, el punto en el cual se suelen introducir magnitudes geométricas en el diseño de instrumentos. Tratándose de un amperímetro, su escala material y, consiguientemente, nuestras lecturas de ella, se basan en una determinada ley que correlata corrientes eléctricas con ángulos de la aguja. Dicho de otro modo: el esquema de un amperímetro se basa en un enunciado legaliforme que correlaciona la intensidad de la corriente con el movimiento angular de un pequeño imán (más propiamente, electroimán) retenido por un muelle; el proyecto del instrumento se basa en una fórmula teórica del tipo “ $i = f(\alpha)$ ” que objetifica la inobservable intensidad de la corriente, i , como ángulo observable, α . Esa relación no se encuentra ni en teoría de la electricidad sola ni en la mecánica sola, sino que se establece en la teoría de los instrumentos eléctricos, que utiliza fragmentos de electrodinámica y de la mecánica. Hay otros modos de medir corrientes eléctricas, pero todos se basan en hipótesis precisas referentes a la relación mensurandum-indicador observable.

En resolución: el buen trabajo de diseño y uso de instrumentos supone cierto número de fragmentos de teorías, a saber, aquellas piezas teóricas que se refieren a la relación entre el mensurandum y magnitudes físicas observables. Así se relacionan varias teorías

que desde el punto de vista lógico son en realidad independientes unas de otras. Por ejemplo, aunque la mecánica clásica es independiente de la óptica, las *contrastaciones* comúnmente aplicadas a la primera suponen de un modo u otro algunas hipótesis propias de la segunda, y a la inversa. El núcleo del cuerpo de teoría presupuesto al proyectar un instrumento es tanto mayor cuanto más indirecta y más precisa es la medición. Baste con recordar las teorías implicadas por la medición de masas atómicas: su función en la adición consiste en suministrar los eslabones de una larga cadena que va desde el concepto trasobservacional “masa atómica” hasta conceptos descriptivos como “amplitud de oscilación de una mancha luminosa en la pantalla de un osciloscopio”.

El trabajo del proyectista de instrumentos culmina con la elaboración detallada de una técnica de medición. (El observador humano puede considerarse desde este punto de vista como un instrumento de una clase especial, y su entrenamiento para la realización de la observación científica como el análogo de la construcción del instrumento.) El resultado final del trabajo de diseño de instrumentos es un conjunto de diagramas y fórmulas que representan las ideas concebidas por el proyectista. Siempre hay un hiato entre el boceto concebido por el científico (a veces ayudado por un técnico) y el aparato efectivamente construido por los técnicos o por el científico mismo: los únicos planos que pueden realizarse con toda precisión son los muy groseros o simples. El hiato se manifiesta sobre todo al determinar el rendimiento del aparato (calibrar). Puede ocurrir que el instrumento no sea siquiera realizable de momento por falta de conocimiento tecnológico o de capacidad práctica material. Pero incluso cuando es realizable, es corriente que se plantee toda una serie de problemas imprevisibles sin solución perfecta: habrá imperfecciones en la consecución de espacios estancos, habrá materiales que se degraden demasiado rápidamente para los fines previstos, habrá imprecisiones en la división de la escala material, etc. Muchas de esas deficiencias podrán remediarse añadiendo nuevas piezas al aparato, como los tornillos para regulación del nivel, los estabilizadores de voltaje, etc. Pero también esos expedientes de corrección material presentarán sus deficiencias propias. Por tanto, no es posible conseguir instrumentos de medición que sean perfectos. Lo más que podemos obtener, y por ello nos esforzamos, es instrumentos *perfeccionados* respecto de los de una fase anterior. De acuerdo con lo que ya hemos dicho, los instrumentos perfeccionados se basarán en especificaciones o conclusiones particulares de una técnica de instrumentación ella misma perfeccionada, la cual responderá a su vez a una teoría de los instrumentos también corregida por su parte; y todo eso depende en última instancia de un perfeccionamiento de la teoría básica. La teoría es, pues, la base de la medición, y no al revés.

La medición propiamente dicha empieza cuando los instrumentos necesarios están ya proyectados, construidos y calibrados. Pasaremos por alto los muchos detalles técnicos de la manipulación de instrumentos —la cual no tiene relevancia filosófica salvo para el pragmatismo y pasaremos a sus resultados.

Problemas

13.5.1. Analizar una técnica de medición directa.

13.5.2. Analizar una técnica de medición indirecta.

13.5.3. Dar una breve descripción de algún aparato de medición que sea familiar en la vida cotidiana, como el velocímetro de un automóvil, o los contadores domésticos del gas y la electricidad, y precisar cuáles son los elementos de teoría física supuestos por su proyectista y por la lectura de sus resultados.

13.5.4. Discutir la relevancia que tienen técnicas de fechado, como la del carbono radiactivo, para la paleontología y la antropología. Cf., por ejemplo, D. Brothwell y E. Higgs (eds.), *Science in Archaeology*, Nueva York, Basic Books, 1963. Sobre las contrastaciones llevadas a cabo para confirmar la sospecha de que el hombre de Piltdown había sido un fraude, véase el entretenido libro de I. Adler, *Stories of Hoaxes in the Name of Science*, 1957, Nueva York, Collier Books, 1962.

13.5.5. ¿Se descubren las leyes gracias a mediciones, o simplemente se someten a contrastación mediante mediciones que suponen o se basan en otras leyes? *Problema en lugar de ése*: Examinar la técnica de medición (propiamente, cálculo) de las distancias planeta-sol y estimar la función que desempeñan en ella elementos teóricos. Recuértese que hay por lo menos tres teorías que intervienen en cualquier cálculo astronómico de esa clase: la mecánica (es decir, las leyes del movimiento, por ejemplo), la teoría de la gravitación (principalmente, la ley gravitatoria de Newton) y la óptica (por ejemplo, la teoría de la aberración de la luz).

13.5.6. ¿Qué hace la medición: producir ella misma las propiedades medidas u objetificarlas y registrarlas? *Problema en lugar de ése*: Analizar el método del cero para las mediciones eléctricas. método en el cual no se consideran más lecturas que las de valor cero. En esta técnica se ajustan los voltajes de las diferentes partes de un circuito hasta que se equilibran, de tal modo que no circula corriente alguna. La aplicación de esta técnica se basa en fórmulas teóricas que se contrastan independientemente mediante lecturas, practicadas en aparatos de medición. En psicofísica se emplea una técnica similar.

13.5.7. ¿Por qué se arbitran técnicas diferentes para medir la misma cantidad? ¿No podríamos contentarnos con la técnica más precisa y abandonar las demás?

13.5.8. Partiendo del hecho de que es conveniente reducir todas las mediciones a mediciones de ángulo y/o longitud, se ha inferido que todas las magnitudes son “en el fondo” ángulos o longitudes. ¿Es correcta esa conclusión? *Problema en lugar de ése*: Especular acerca de la posibilidad de que haya seres racionales no humanos sensibles a la radiación infrarroja (emitida por todos los cuerpos calientes), pero insensibles a la clase de luz a la que nosotros reaccionamos. ¿Qué clase de instrumentos de medición usarían probablemente esos seres?

13.5.9. Hacer un análisis metodológico detallado de cualquier manual de medición psicológica.

13.5.10. Estudiar el problema de la medición a la luz de la mecánica cuántica. En particular, estudiar si es lógico el hacer referencia a mediciones en los axiomas de la teoría de los *quanta*, teniendo en cuenta que la teoría tiene que estar ya disponible antes de poder aplicarla a una discusión de las mediciones a la luz de dicha teoría; por eso la teoría cuántica de la medición debe aparecer, en todo caso, al final y no al principio de un tratado de mecánica cuántica. Cf. J. A. Wheeler y W. H. Zureck (comps.), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1983; M. Cini y J. M. Lévy-Leblond (comps.), *Quantum Theory without Reduction*, Nueva York, Adam Hilger, 1990.

13.6. RESULTADO

Una vez proyectado, construido y contrastado un equipo de medición (cf. sección anterior), puede empezar la medición propiamente dicha. Los resultados brutos de una serie de mediciones serán un conjunto de números: así, por ejemplo, una determinada medición de masa puede dar 100 números ligeramente diferentes, o sea, 100 respuestas al problema inicial (cf. fig. 13.13). Estos datos en bruto tienen que elaborarse y condensar-

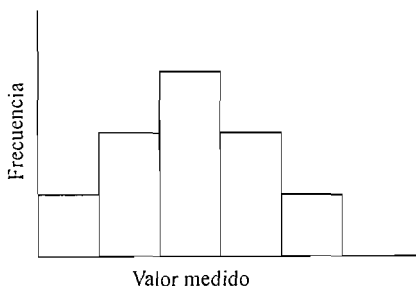


FIGURA 13.13. Un histograma (imaginario) o distribución de frecuencias que muestra los resultados de una serie de mediciones. La ordenada indica el número de valores medidos aproximadamente idénticos.

se en búsqueda de una respuesta única, porque sólo un dato refinado es adecuado para la interpretación y el cálculo, y porque sólo esa información refinada y única puede suministrarse al aparato teórico para contrastar la teoría o derivar de ella otros datos. Dicho de otro modo: el registro final de una serie de mediciones no será un conjunto de resultados brutos de mediciones, sino un enunciado único que represente la serie entera. Esta representación se hace a través de dos conceptos estadísticos: la media $m(\dot{r})$ del conjunto de los valores medidos y la dispersión o desviación estándar, σ , del conjunto alrededor de la media. Así, por ejemplo, la exploración de Venus por el Mariner II (1962) dio entre otros el siguiente resultado de medición: “La masa de Venus es 0,81485 veces la de la Tierra, con un error estándar del 0,015%.” En este caso la media era 0,81485 u , siendo u la unidad de masa, y el error estándar era $\sigma = (0,015/100) \times 0,81485 \cong 0,00012$. En general, un valor estimado sobre la base de una serie de mediciones se expresará en la forma (cf. sec. 13.2):

$$m(\dot{r}, \dot{s}) = \bar{m}(\dot{r}) \pm \sigma \quad [13.6]$$

Atendamos ahora al proceso de elaboración de los datos y a su resultado final. Como vimos en la sec. 12.4, los principales estados de elaboración de los datos son la estandarización o normalización, la sistematización, el estudio de los errores y el cómputo del valor “exacto” (medio). La normalización de las lecturas es la reducción de éstas a un medio ambiente uniforme ideal (condiciones normales de presión y temperatura), de tal modo que los datos puedan compararse con valores obtenidos por otros investigadores. La sistematización de los datos es su despliegue ordenado en forma de tablas, distribuciones de frecuencia (histogramas), etc.; esta fase puede llegar hasta el resumen de los datos y su generalización en curvas empíricas o funciones empíricas. En la sec. 12.4 he-

mos hablado ya de la reducción y la sistematización de los datos; echemos ahora un vistazo a los dos últimos estadios de la elaboración de datos.

Una vez sistematizados, los datos de medición se examinan en búsqueda de errores experimentales. Los errores de observación y medición son de dos clases: sistemáticos y al azar o casuales. Los *errores sistemáticos* se deben a deficiencias del planeamiento o de la ejecución de la medición. Por ejemplo, el sistema de iluminación puede calentar excesivamente el objeto sometido a medición, produciendo una deformación sistemática en el sentido de la exageración de las longitudes; o bien las fluctuaciones de la presión atmosférica pueden producir cambios en el volumen de un gas. En el primer caso puede eliminarse o debilitarse considerablemente la fuente de error; en el segundo puede calcularse la corrección por medio de una fórmula teórica. Los errores sistemáticos son, pues, aquellos que resultan de ignorar variaciones del medio (insuficiente aislamiento del complejo aparato-objeto) o de irregularidades del equipo: aparecen como deformaciones unilaterales del valor real, y pueden en principio eliminarse o corregirse por medio de la teoría. Los errores sistemáticos son a menudo descubribles sometiendo a prueba el dispositivo, controlando mediante técnicas independientes los resultados obtenidos, o bien con la ayuda de la teoría. Cuando se descubren errores sistemáticos, lo mejor es volver a examinar todo el dispositivo, reajustarlo y volverlo a contrastar, así como repetir luego toda la serie de mediciones. El aumentar sin reflexión el número de mediciones no sirve para nada cuando se trata de errores sistemáticos; y esto vale, naturalmente, para toda clase de error. Cosa diversa ocurre con los errores no sistemáticos o casuales.

El mejor modo de descubrir y dominar los errores sistemáticos consiste en examinar la distribución de un gran número de valores medidos: esos valores no se dispersan por lo general simétricamente más que si actúan influencias casuales, no-sistemáticas. En cambio, si durante las mediciones ha estado obrando alguna influencia constante, la distribución de los valores medidos manifestará alguna unilateralidad o inclinación. Más precisamente: un conjunto numeroso de valores medidos sin error sistemático se encontrará por lo común a lo largo de una curva simétrica acampanada como la de la figura 13.14. (En realidad esa curva es teórica: se obtiene gracias al supuesto de la casualidad estricta para una población infinita de datos en bruto y con la ayuda de la teoría de la probabilidad.)

*Los valores más frecuentemente hallados son próximos al valor medio o “exacto” $\bar{m}$, en torno al cual se sitúan todos los demás: $\bar{m}$ es el valor más probable. La amplitud de la dispersión de las lecturas en torno a la media $\bar{m}$ se expresa por la mitad del margen, lla-

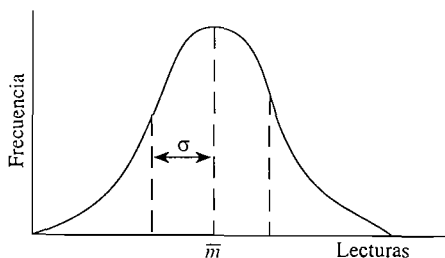


FIGURA 13.14. La distribución de Gauss: curva teórica a la que se aproximan la mayoría de los datos cuantitativos. Cf. fig. 13.13.

mada *error estándar*. La probabilidad de que una lectura determinada se encuentre entre $\bar{m} - \sigma$ y $\bar{m} + \sigma$ es aproximadamente de 0,68, y la probabilidad de que se encuentre entre $\bar{m} - 2\sigma$ y $\bar{m} + 2\sigma$ es 0,95. El *error probable* es aproximadamente $0,68\sigma$. El *error exacto* es, obviamente, tan desconocido como el valor exacto. Pero podemos calcular la *probabilidad* de que el error real, pero desconocido, rebase el error probable calculado. Para una distribución de la forma indicada, las probabilidades se equilibran, y hay una probabilidad por cada 4,5 de que rebase incluso 2σ . El error probable del error probable disminuye con el error probable mismo y con el aumento del número de observaciones: se expresa por $0,48/n^{1/2}$.*

Si no hubiera influencias casuales actuando permanentemente en y sobre el complejo objeto-aparato, no habría tampoco errores casuales, o sea, tendríamos $\sigma = 0$. Una buena técnica de medición no ignora esos errores, sino que minimiza el margen de error 2σ . ¿Puede llevarse este desideratum hasta el límite constituido por la medición libre de errores? Antes de enfrentarnos con esta importante cuestión debemos introducir una distinción entre precisión y exactitud. La *exactitud* de una medición depende de la técnica y del error sistemático: una medición exacta es aquella que (i) mide precisamente lo que quiere medir y (ii) está prácticamente exenta de error sistemático. Las dos condiciones son recíprocamente independientes: la primera depende del planeamiento de la medición, y la segunda depende de la calidad de su realización. Por ejemplo: es posible aplicar un test de inteligencia de un modo prácticamente exento de error sistemático, pero sin que lo medido sea la inteligencia natural, sino el acervo de información, o memoria, y en este caso no dará resultados exactos. La *precisión* de una información libre de error sistemático depende a la vez de la técnica y del error casual: cuando menor es σ , tanto mayor la precisión. (Más precisamente: la precisión h de un conjunto de lecturas queda dada por la fórmula $h = 1/\sigma \cdot 2^{1/2}$.) Por ejemplo: la precisión de las mediciones del tiempo por medio de cronómetros es de una décima de segundo, mientras que la de masers y lasers es de uno por 10^{11} .

Supongamos que hemos podido identificar los errores sistemáticos de una medición y reconducirlos a perturbaciones eliminables o calculables, o a inexactitudes en la proyección o la ejecución del trabajo, y que un análisis teórico de nuestra técnica revela que dicha técnica mide realmente lo que se desea medir con ella. Supongamos, en resumen, que hemos realizado mediciones *exactas*: ¿podremos eliminar los errores casuales y conseguir así la *precisión completa* ($\sigma = 0$)? Para dar respuesta a esa pregunta no nos hace falta esperar futuros perfeccionamientos de las técnicas de medición: basta nuestro conocimiento actual. Y la respuesta es compleja. Si el mensurandum no puede tomar más valores que los múltiplos enteros de una unidad elemental (como la carga del electrón o la unidad de momento angular), puede conseguirse en principio la precisión completa, aunque tal vez haya que esperar, para conseguirlo en la práctica, progresos técnicos. Pero si el mensurandum es una magnitud continua, como la posición o el momento lineal, existen dos limitaciones naturales de la precisión: (i) la más fina división de la escala pone un límite al margen de error, y la tarea de ir aumentando la finura de las divisiones de la escala tiene sus limitaciones técnicas; (ii) el error casual no puede reducirse más allá de un cierto umbral que es el “ruido” de fondo, o fluctuación al azar (por ejemplo, el movimiento browniano) que es intrínseco a todo sistema macroscópico. Puede reducirse el “ruido”

mejorando el aislamiento del sistema –en particular, mediante el control a distancia– y operando a baja temperatura, pero ninguno de esos procedimientos eliminará completamente las fluctuaciones casuales. En resumen: existen límites en el intento de disminuir el valor de la razón ruido-síñal.

De lo anterior parecen desprenderse con naturalidad las siguientes conclusiones. Primera: el error experimental no debe ocultar el valor medido. O sea, el error sistemático y el error casual sumados no deben ser tan considerables como para impedir que se detecte la señal. (Formulado brevemente, $\text{Min } \{\bar{m}\} \gg \sigma$.) En los primeros pasos de una línea o programa de investigación pueden presentarse, sin embargo, errores del cien por cien, y hasta más grandes, por lo que sólo se estiman en esas fases los órdenes de magnitud. Así ha ocurrido con muchas antiguas mediciones en física atómica, y sigue ocurriendo en las mediciones astronómicas que sirven para contrastar teorías cosmológicas. Segunda: los errores experimentales, si son puramente casuales, no son *errores* propiamente dichos, no son equivocaciones: a diferencia de los errores sistemáticos, que se deben a la ignorancia de factores perturbadores, los errores casuales están en la naturaleza de las cosas, y no son una ilustración o ejemplo de la falibilidad humana.

La cuestión no es puramente verbal: se obtiene interpretaciones diferentes de la mecánica cuántica, si las desviaciones estándar Δx y Δp que intervienen en las desigualdades de Heisenberg se interpretan (i) como incertidumbres subjetivas o (ii) como fluctuaciones aleatorias del sistema mismo, (iii) como efectos del acoplamiento del microsistema con el aparato de medición, o (iv) como medidas de la borrosidad objetiva de las cosas microfísicas. Tercera: contrariamente a una creencia muy corriente, el carácter discreto de ciertas magnitudes, como el momento angular, no es una fuente de errores irreductibles de medición, sino que posibilita la medición precisa (libre de errores), por lo menos en principio. En este caso las perturbaciones casuales pueden mantenerse por debajo del umbral necesario para registrar la transición de un valor de la magnitud a otro, lo cual no ocurre cuando la magnitud puede variar por cantidades tan pequeñas como se quiera. La imprecisión propia de las mediciones de magnitudes continuas se compensa un tanto por la precisión alcanzable en principio en la medición de magnitudes con un espectro de valores numerables. La espectroscopia ha sido la primera ilustración de este hecho.

Volvamos ahora a la elaboración de datos en bruto expuestos en un histograma o gráfico de errores. La forma del gráfico, particularmente la cima y la anchura de la dispersión, dependerá del número de mediciones. Es deseable tomar un gran número de lecturas, con objeto de dar cabida al mayor número posible de desviaciones casuales que se contrapesen: es beneficioso que aparezca una gran variedad de errores casuales. A medida que aumenta el número de las mediciones practicadas con un mismo equipo, el centro de distribución de los valores, o sea, $\bar{m}$, se irá normalmente acercando a un valor determinado –dejando aparte las ocasionales fluctuaciones en tramos pequeños. Si las cosas no discurren así, es que el equipo material tiene una tendencia en algún preciso sentido. Esta convergencia del valor medio o “exacto” hacia un número determinado se llama *convergencia interna*. Un buen dispositivo de medición debe dar resultados internamente convergentes, o sea, los valores medios que deben ser suficientemente estables.

*Condición necesaria para conseguir la convergencia interna es que las sucesivas operaciones de medición hechas con el aparato o equipo sean independientes unas de otras.

Dicho de otro modo: condición necesaria para estabilizar el centro de la distribución de los valores medidos es que ninguna medición ejerza influencia sobre otra, o sea, que el equipo o aparato tenga mala memoria. Si el estado del instrumento de medición depende críticamente de alguno de sus resultados previos, entonces los varios resultados no serán estadísticamente independientes, sino que estarán correlatados. Dicho de otro modo: el tiempo de recuperación (relajación) del dispositivo de medición *tiene que ser más corto* que el intervalo de tiempo entre las mediciones. Consiguientemente, la tarea que consiste en seguir los estados sucesivos de un objeto –por ejemplo, las sucesivas posiciones de una partícula– a intervalos muy cortos puede llegar a ser muy difícil, si no ya incluso imposible. En todo caso, siempre habrá instrumentos que se recuperen más rápida y completamente que otros, pero nunca hay garantía de que todas las huellas dejadas por un acto de medición (especialmente las huellas térmicas y magnéticas) vayan a desaparecer antes de hacer la siguiente lectura.*

Los progresos en la proyección de instrumentos mejorarán la independencia estadística de los actos de medición y, consiguientemente, la precisión. Dicho brevemente: los progresos de la técnica van acompañados por un proceso de *convergencia externa* por el cual se reducen progresivamente los errores casuales: las nuevas curvas son más espigadas que las viejas. La física clásica confiaba en que el proceso de convergencia externa fuera disminuyendo constantemente los errores casuales hasta llegar a cero, o, por lo menos, en que no se encontraría obstáculo invencible en la marcha hacia una disminución indefinida. El descubrimiento de las fluctuaciones térmicas en primer lugar y, luego, el de las fluctuaciones cuánticas ha impuesto un objetivo más modesto. Todo lo que deseamos hoy es ser capaces de determinar los límites de tales fluctuaciones y, en un estadio posterior, poder analizar acaso esas fluctuaciones por medio de procesos más fundamentales.

Con eso termina nuestra exposición de la medición. La explicación más corriente de la misma, al tomar como centro la construcción de escalas de medición y el manejo de los instrumentos, puede ignorar la riqueza conceptual de los procedimientos de medición. En nuestra exposición, por el contrario, hemos visto que la medición propiamente dicha es un eslabón de una cadena más bien larga de operaciones conceptuales y empíricas, a saber: *Concepción* clara del mensurandum y del objetivo de la medición con la ayuda de una teoría – *Objetificación* del mensurandum por medio de enunciados de leyes – *Concepción* de una escala de medición ideal (con un cero y una unidad si es métrica) – *Realización* de una *escala material* que refleje la escala conceptual – *Proyección* del equipo, basada en teorías relevantes – *Construcción* del equipo (frecuentemente con la ayuda de la tecnología, basada en fragmentos de ciencia pura) – *Contrastación* del equipo (*ídem*) – *Corrección* del equipo (*ídem*) – MEDICIÓN – *Normalización* de las lecturas con la ayuda de la teoría – *Sistematización* de los datos – *Búsqueda* de errores sistemáticos – *Cómputo* del valor “exacto” (medio) y del error estándar (con la ayuda de la estadística matemática).

El análisis de la medición nos ha llevado muy lejos de la simplista doctrina que lo reduce todo a echar un vistazo a la escala y concluir sin más. El estudio del experimento nos llevará aún más lejos de esa doctrina.

Problemas

13.6.1. Practicar un análisis estadístico de una serie de mediciones. *Problema en lugar de ése*: Un cronómetro adelanta una hora cada día. ¿Qué puede hacerse para obtener resultados exactos antes de llevarlo a reparar?

13.6.2. ¿Cómo compararíamos las precisiones de diferentes instrumentos proyectados para el mismo fin? *Problema en lugar de ése*: ¿Qué puede hacerse con un equipo de medición que manifieste un comportamiento no convergente?

13.6.3. ¿Por qué se practican mediciones? ¿Son intrínsecamente valiosos los resultados de mediciones? ¿Y es ya investigación científica la mera ejecución de mediciones? *Problema en lugar de ése*: ¿Organizaríamos un instituto de física a base de las mediciones que existen en esa ciencia, por ejemplo, cronometría, termometría, etcétera?

13.6.4. ¿Se ocupa toda ciencia de mediciones? ¿Absorbe la medición toda o la mayor parte de la investigación científica? Cf. N. R. Campbell, *Foundations of Science*, 1919, Nueva York, Dover, 1957, p. 267: la física “puede casi describirse como la ciencia de la medición”. *Problema en lugar de ése*: Examinar la opinión, difundida muy generalmente entre los historiadores de la ciencia, de que la ciencia moderna ha nacido de la medición y se ha desarrollado gracias a ella.

13.6.5. Tómese el informe de una medición publicado en alguna revista científica y estúdiese (i) si tiene sentido alguno fuera de todo contexto teórico, y (ii) si su valor veritativo y su significación pueden estimarse sin apelar a ninguna teoría. *Problema en lugar de ése*: La constante atómica que se conoce con más precisión no se refiere a cosas ni a acaecimientos observables: es la constante de Rydberg, que se presenta en la teoría atómica. ¿Qué sugiere esto respecto de la doctrina según la cual el conocimiento más preciso que posee el hombre es el conocimiento de sí mismo?

13.6.6. ¿Se repiten las mediciones (i) porque la repetición suprime los errores sistemáticos, o (ii) porque el obtener la media de grandes conjuntos de números mejora la calidad (exactitud) de la medición, o (iii) porque la variación del resultado es un índice de la reproducibilidad, o (iv) para aumentar el número de casos favorables y, con él, el grado de confirmación, o (v) porque los errores casuales tienden a compensarse, o (vi) porque un gran número de lecturas suministra una estimación fiable de la precisión? Advertencia: esas posibilidades no se excluyen unas a otras.

13.6.7. Los microscopios ópticos no pueden discriminar entre dos objetos a menos que su distancia no sea inferior a 10^{-5} cm. Esta limitación natural del poder resolutorio está impuesta por la longitud de onda de la luz. Se superó primero gracias a los rayos X, que tienen una longitud de onda mucho menor, y luego con la microscopia electrónica, la cual, por utilizar ondas aún más cortas (materiales), puede distinguir objetos separados por 10^{-7} cm. Ninguno de esos desarrollos podían sospecharse antes de nuestro siglo; en particular, el microscopio electrónico no pudo inventarse sino después que De Broglie conjeturara su relación recíproca entre longitud de onda y momento. Inferir alguna enseñanza sobre la prudencia con la cual deberían hacerse afirmaciones sobre límites insuperables.

13.6.8. Estúdiese el papel de la teoría en la formulación de problemas tales como “¿Qué debíamos medir?” y “¿Cómo debíamos medir?” Empiécese por considerar un par de ejemplos realistas.

13.6.9. Una precisa medición de longitud requiere una precisa medición de temperatura, la cual requiere a su vez una no menos precisa medición de longitud. ¿Es eso un círculo vicioso? Indicación: considerar una serie de mediciones alternativas de longitud y temperatura hechas con precisión creciente. Cf. R. Carnap, *Physikalische Begriffsbildung*, Karlsruhe, G. Braun, 1926, p. 36. *Problema en lugar de ése*: Todo conjunto de datos, estadísticos o derivados de mediciones, está afectado por irregularidades que tienden a enmascarar toda regularidad de los mismos. Esas

irregularidades accidentales se eliminan mediante ciertas técnicas de ajuste. Los procedimientos más antiguos de ese tipo carecían de fundamentación: consistían en forzar a los datos a acumularse a lo largo de curvas sencillas, como la parábola. Examinar cómo esas técnicas han pasado del estado empírico, dominado por el credo de la simplicidad, a su actual estado teórico, dominado por la teoría de la probabilidad. Cf. la obra inicial de E. Whittaker y G. Robinson, *The Calculus of Observation*, 4a. ed., Londres y Glasgow, Blackie & Son, 1944, cap. xi, o algún libro posterior sobre el tema.

13.6.10. Los actos de medición no son ni verdaderos ni falsos: pueden ser correctos o incorrectos, o buenos o malos, según que cumplan o violen las reglas relevantes previamente estipuladas. Se ha inferido de esa circunstancia que los resultados de la medición, expresados por enunciados de medición del tipo de 'El valor medido de x con el equipo tal o cual es igual a y con un margen de error z ' no son ni verdaderos ni falsos. Examinar esa opinión. *Problema en lugar de éste*: Las mediciones no pueden dar más que números finitos (racionales, además) en cantidad finita. ¿Justifica eso el programa que pretende eliminar de las teorías factuales la infinitud y la continuidad, programa propuesto por filósofos que desconfían del infinito y de la continuidad porque son conceptos trasempíricos? ¿Y son esos conceptos factualmente sin-sentidos por el hecho de no tener contrapartida empírica? (Sobre las varias clases de significación, cf. sec. 3.5.)

BIBLIOGRAFÍA

- Baird, D. C., *Experimentation: An Introduction to Measurement Theory and Experiment Design*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1962, caps. 2 y 3.
- Blalock, H. M. (ed.), *Measurement in the Social Sciences*, Nueva York, Macmillan, 1974.
- Bohm, D., *Quantum Theory*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1951, cap. 22.
- Bunge, M., *Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1967.
- , "A mathematical theory of the dimensions and units of physical quantities", en M. Bunge (comp.), *Problems in the Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1971.
- , "On confusing, 'measure' with 'measurement' in the methodology of the behavioral sciences", en M. Bunge (comp.), *The Methodological Unity of Science*, Dordrecht, Reidel, 1973.
- , "Quantum mechanics and measurement", *International Journal of Quantum Chemistry*, 12, supl. 1: 1-13, 1977.
- , *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transaction, 1999.
- Campbell, N. R., *Physics: The Elements*, Londres, Cambridge University Press, 1920, reimpresso con el título de *Foundations of Science*. Nueva York, Dover, 1957, parte II.
- Dumond, J. W. M., y E. R. Cohen, "Fundamental Constants of Atomic Physics", en E. U. Condon y H. Odishaw (eds.), *Handbook of Physics*, Nueva York, McGraw-Hill, 1958.
- Ellis, B., *Basic Concepts of Measurement*, Cambridge, Cambridge University Press, 1968.
- Feather, N., *Mass, Length, and Time*, Edimburgo, Edimburgo University Press, 1959.
- Isis*, 52, parte 2, 1961, número dedicado a la historia de la cuantificación.
- Jeffreys, H., *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1957, caps. IV-VI.
- Kayan, C. F. (ed.), *Systems of Units*, Washington, American Association for the Advancement of Science, 1959.
- Lenzen, V. F., *Procedures of Empirical Science*, vol. I, núm. 5 de la *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1938.

- Maiztegui, A. P., y R. J. Gleiser, *Introducción a las mediciones de laboratorio*, Buenos Aires, Kapelusz, 1980.
- Margenau, H., *The Nature of Physical Reality*, Nueva York, MacGraw-Hill, 1950, cap. 18.
- National Bureau of Standards, *Experimental Statistics*, Washington, US Government Printing Office, 1966, cap. 23.
- Neumann, J. von, y O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, 3a. ed., Princeton, Princeton University Press, 1934, sec. 3.4.
- Pfanzagl, J., *Die Axiomatische Grundlage einer allgemeinen Theorie des Messens*, Würzburg, Physica-Verlag, 1959.
- , “A General Theory of Measurement. Applications to Utility”, *Naval Research Logistic Quarterly*, 6, 283, 1959.
- Sadosky, M., *Cálculo numérico y gráfico*, Buenos Aires, Librería del Colegio, 1952.
- Schultzer, B., *Observation and Protocol Statement*, Copenhagen, Muksgaard, 1938.
- Stein, P. K., *Measurement Engineering*, vol. 1, 3a. ed., Phoenix, Sietn Engin. Service, 1965.
- Whittaker, E., y G. Robinson, *The Calculus of Observation*, 4a. ed., Londres y Glasgow, Blackie & Son, 1944.
- Wilson, E. B. Jr., *An Introduction to Scientific Research*, Nueva York, McGraw-Hill, 1952.

14. EXPERIMENTO

El experimento científico es la más rica de todas las formas de experiencia humana: añade a la observación el control de ciertos factores con base en supuestos teóricos y, cuando es preciso, supone medición. El experimento científico, cuando se realiza con su ayuda y se orienta a contrastar ideas, resulta ser propiamente el método experimental. Y el método experimental se considera a su vez frecuentemente como característico de la ciencia moderna. Por tanto, el estudio del experimento científico tiene interés para el científico mismo, para el filósofo y para el historiador de las ideas.

14.1. CAMBIO PLANIFICADO

Cuando oímos el canto de un pájaro sin haber estado observando al animal, tenemos una experiencia espontánea. En cambio, si le prestamos intencionada atención, aunque no oigamos su canto estamos teniendo una experiencia dirigida. Y si además registramos el canto y tomamos nota de las circunstancias concomitantes, nuestra experiencia se convierte en una observación propiamente dicha que puede ponerse al servicio de alguna finalidad científica. Pero en ninguno de esos casos se ha practicado un experimento científico en sentido propio: por definición, el *experimento* es aquella clase de experiencia científica en la cual *se provoca deliberadamente algún cambio* y se observa e interpreta su resultado con alguna *finalidad cognoscitiva*. Por ejemplo: sería un experimento sobre el canto de los pájaros el mantener algunos pájaros cantores aislados individualmente desde su nacimiento para estudiar la influencia del aprendizaje y la herencia en el canto. La mera cría de pájaros sin una intención de esa naturaleza no es un experimento, sino simplemente una experiencia con mayor o menor observación.

Vimos en la sec. 12.2 que la observación puede analizarse en tres componentes por lo menos: el objeto de observación (inserto en su entorno o medio), el observador y un canal de comunicación que transmite señales entre ambos. La medición introduce un cuarto factor, que es el dispositivo de medición. En el experimento, el objeto se ve rodeado por un *medio artificial* en mayor o menor medida, o sea, por un medio que en algunos aspectos se encuentra bajo el control —a poder ser remoto— del operador (cf. fig. 14.1). El control del experimentador se ejerce tanto sobre los estímulos que deben provocar la reacción del objeto cuanto sobre el objeto mismo. Los estímulos pueden ejercerse o aplicarse directamente, como ocurre cuando se someten organismos a descargas eléctricas, o indirectamente, como cuando se altera la humedad del ambiente. Y el control de los estímulos puede consistir simplemente en registrarlos o medirlos, o en una variación intencionada de la intensidad, como ocurre al controlar flujos de líquidos manejando un grifo o por medio de un dispositivo de control automático.

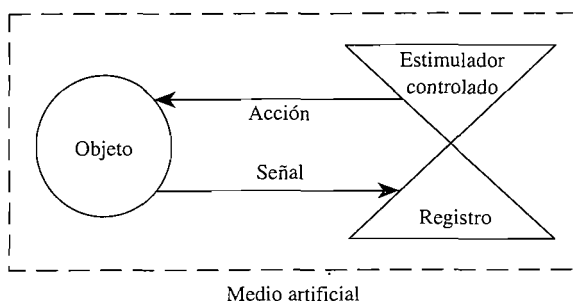


FIGURA 14.1. El experimento: estudio de la reacción de un objeto a estímulos controlados. Las más de las veces, con dispositivo de registro.

En el primer caso podemos hablar de *control pasivo*, en el segundo de *control activo*.

Si el control de factores (*inputs*) y productos (*outputs*) no se lleva a cabo con precisión cuantitativa, la operación es un experimento *cualitativo*. En un experimento *cualitativo* los valores de ciertas magnitudes —las consideradas relevantes, con mayor o menor certeza— son objeto de medición; si la precisión de la medición es escasa, puede hablarse de experimentos *semicuantitativos*. Dicho de otro modo: cuando la presencia o ausencia de las varias variables o los factores se toman ciertamente en cuenta, pero sin medirlos, el experimento es cualitativo, aunque —como ocurre en el llamado método factorial— se planea con la ayuda de una teoría estadística. La mayoría de los experimentos meramente exploratorios que se refieren al descubrimiento de hechos nuevos o a la contrastación preliminar de nuevas teorías son experimentos cualitativos o semicuantitativos: sólo si resultan claramente favorables o muy inconcluyentes vale la pena conseguir precisión cuantitativa. Por ejemplo: los experimentos de Oersted sobre la interacción entre imanes y corrientes fueron cualitativos; Oersted no contaba más que con una hipótesis cualitativa que contrastar, a saber, la de que todas las “fuerzas” de la naturaleza están relacionadas. Ampère, que había elaborado una teoría cuantitativa para explicar el experimento de Oersted, proyectó y realizó experimentos cuantitativos sobre esos mismos hechos. El proyecto de experimentos cuantitativos es naturalmente más complejo que el de experimentos cualitativos, pero no necesariamente más sutil desde el punto de vista intelectual: el uso de los instrumentos de medición presupone que las variables de que se trata están ya objetificadas y que se han desarrollado técnicas de medición, mientras que un experimento cualitativo puede “demostrar” (o sea, objetificar o poner de manifiesto) por vez primera ciertas variables y relaciones. También en esto la originalidad puede ser más valiosa que la exactitud. Moraleja pedagógica: los experimentos cualitativos hechos con material modesto, doméstico, son más instructivos que los experimentos exactos realizados con materiales prefabricados y ya listos para obtener resultados limpios.

Sean o no cuantitativos, los experimentos suponen construcciones científicas, conceptos, hipótesis y teorías. La mayor parte de las veces suponen cierto número de fragmentos de teorías. En un experimento preparado para conseguir nueva información, las teo-

rias intervendrán antes y después de la realización, o sea, en el proyecto experimental y en la interpretación de los resultados experimentales. En ambos estadios intervienen teorías sustantivas (por ejemplo, la óptica) y teorías metodológicas (por ejemplo, la teoría de los errores de medición). Es obvio que la intervención de hipótesis y teorías es aún mayor cuando el experimento busca la contrastación de una hipótesis o de una teoría, pues en este caso el dispositivo experimental tendrá que materializar una larga cadena que empieza con hechos inobservables, como la dispersión de los electrones por los átomos, o la distracción de un flujo de pensamiento por un estímulo externo, y termina con hechos observables tales como el movimiento de una aguja indicadora o un gesto. El experimento no se lleva nunca a cabo en un vacío teórico, ya por el mero hecho de que si hacemos experimentos es por resolver problemas originados por un cuerpo de ideas. Esto es lo que dificulta tanto la divulgación de los experimentos científicos: los hechos observables pueden presentarse a cualquier lector o espectador, pero las ideas motoras son accesibles a poca gente. En resolución: de lo que se trata en todo experimento es de un conjunto de ideas relativas a los hechos que el experimento produce o controla; esto se desprende claramente del examen de cualquier experimento científico. A título de ejemplo elegiremos unos experimentos que hicieron época: los que proyectó y realizó Lavoisier para contrastar su sospecha de que la masa no se pierde ni se gana en el curso de las reacciones químicas, pese a las apariencias que indican lo contrario.

Ya en 1630 J. Rey había hallado que el peso del estaño aumenta cuando se oxida (cf. sec. 5.5). Rey consiguió ese descubrimiento gracias a haberse formulado el problema de seguir (controlar) las variaciones de peso concomitantes a tales procesos. Y pudo plantearse el problema porque había concebido la hipótesis programática de que el peso podía ser una variable relevante para la química. Aún más: Rey no se contentó con formular la hipótesis fenomenológica “El estaño aumenta de peso por oxidación”, sino que pasó a proponer una hipótesis sobre el mecanismo del proceso: supuso que el aumento de peso de la “cal” (óxido) respecto del metal correspondiente se debía a la toma de aire. Se conocieron otros varios casos además del estudiado por Rey, pero todos fueron pasados por alto como anomalías sin importancia, porque estaban en contradicción con las opiniones aceptadas, en particular con la teoría del flogístico, propuesta casi un siglo después de los experimentos de Rey. La teoría del flogístico descendía indirectamente de la hipótesis aristotélica sobre el fuego, entendido como elemento ígneo, y tenía por tanto el apoyo de la ciencia ortodoxa y de la metafísica. La teoría afirmaba que las cales, como los “minerales metálicos” (nuestros óxidos), eran todas más simples que los metales correspondientes, porque se encuentran en la naturaleza (pese a las llamativas excepciones del mercurio y el oro); esta tesis era un mero ejemplo del principio ontológico general según el cual la naturaleza es simple y el hombre es el origen de toda complejidad. Ahora bien, si las cales son más simples que los metales correspondientes, entonces había que añadir algo a las primeras para convertirlas en metales en las fundiciones: ese algo era el flogístico, el elemento productor del fuego. Siempre que se producen un metal y fuego, el proceso tiene que cumplir según esa teoría uno de los dos esquemas (leyes) siguientes:

Metal calentado al aire $\rightarrow$ Cal + Flogístico [14.1]

Cal + Flogístico $\rightarrow$ Metal [14.2]

La teoría del flogístico coordinaba de un modo simple una gran masa de datos, o sea, tenía las virtudes de simplicidad y alcance. Consiguientemente, fueron pocos los que se sintieron inquietos por la “anomalía” consistente en que había unas cuantas sales conocidas que pesaban más que los correspondientes metales, o por el hecho de que la teoría no explicara el mecanismo de la oxidación. El interés de los químicos de la época no era el contrastar y desarrollar (complicar) sus hipótesis, sino confirmar una y otra vez una teoría simple que disfrutaba del apoyo de la tradición; en última instancia, y si alguien se preocupaba por la cuestión de los pesos, siempre se podía atribuir al flogístico un peso negativo. ¿Qué más puede pedirse que un amplio alcance para una teoría?

¿Y por qué vamos a reprochar a los químicos de hace dos siglos el haber sido datistas y datoístas, cuando algunos de los más eminentes físicos teóricos de nuestra propia época se comportan exactamente del mismo modo que ellos respecto de las teorías actuales? En cualquier caso, los experimentos cuantitativos, sobre todo experimentos referentes al control del peso, no desempeñaban sino un papel muy reducido, o nulo, en aquel contexto, porque el concepto de peso no se presentaba siquiera en la teoría química dominante; y no desempeñaba ni podía desempeñar ningún papel en la teoría misma porque ésta era fenomenológica, no mecánica. La química seguiría siendo por fuerza semicuantitativa y fenomenológica mientras no entrara en contacto con la ciencia del nivel inmediatamente inferior, la física. Fue obra de Lavoisier el empezar ese proceso de penetración en la reacción química hasta alcanzar su raíz física. Lavoisier mostró que el desprecio del peso era un error, y construyó y contrastó una teoría química completamente nueva de los procesos de combustión (1772-1778). El concepto clave de esa nueva teoría era el de oxidación como combinación con oxígeno: el concepto era aún específico de la química, pero había que aclararlo con la ayuda de teorías físicas. Recordemos y examinemos brevemente los dos experimentos clásicos que sostuvieron y en parte acaso sugirieron las ideas de Lavoisier.

Experimento # 1: Oxidación del mercurio (fig. 14.2). Si se calienta una muestra de mercurio en una retorta que comunique con una cámara de aire pueden observarse los hechos siguientes. Primero: se forma en la superficie libre del mercurio un estrato de polvo rojizo (*mercurius calcinatus per se*). Segundo: el volumen del aire encerrado en la cámara disminuye hasta un mínimo que no varía ya aunque se siga calentando el mercurio. Tercero: el polvo rojizo formado en la superficie del mercurio es más pesado que el metal con el cual se ha formado, como se averigua mediante pesadas practicadas antes y después del experimento.

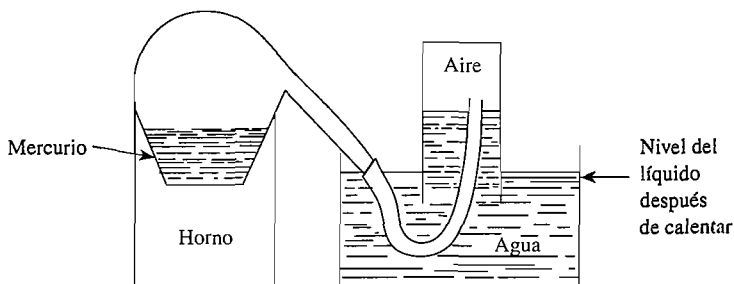


FIGURA 14.2. La oxidación del mercurio va acompañada por consumo de aire.

Experimento # 2: Descomposición del polvo rojizo (fig. 14.3). El polvo rojizo obtenido en el anterior experimento se calienta en un recipiente de vidrio herméticamente cerrado, por medio de un intenso haz de luz. Se observan los siguientes hechos. Primero: se forma poco a poco mercurio puro a partir del polvo rojo. Segundo: se desaloja parte del líquido, lo cual se interpreta como formación de gas. Tercero: si se añade este gas al residuo gaseoso del primer experimento, se obtiene una mezcla idéntica al aire común.

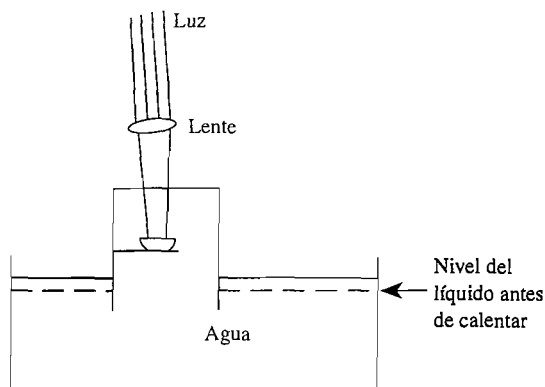
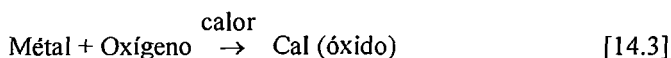


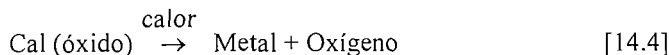
FIGURA 14.3. La descomposición del polvo rojo va acompañada por liberación de un gas.

Ésas son las descripciones de los experimentos; si Lavoisier se hubiera contentado con eso, no sería el padre de la química moderna. Observemos los siguientes rasgos de esos experimentos. Primero: uno es el recíproco o complemento del otro. Segundo: en los dos casos se construyen sistemas muy análogos. (En el experimento # 2 hay que considerar la luz como parte del sistema.) O sea, la mayoría de las variables se mantienen constantes, sobre todo el peso total, puesto que no hay transporte de material. Tercero: se controlan tres variables físicas porque se sospecha que son las relevantes: temperatura, peso del metal, volumen de gas. Cuarto: en ninguno de los casos se trata simplemente de observar comportamientos espontáneos de la naturaleza, sino que se cambia deliberadamente la temperatura. Quinto: el volumen del gas, que es imperceptible, se objetifica y controla por medio de un nivel líquido.

Lavoisier explicó los resultados de sus experimentos gemelos introduciendo las siguientes hipótesis; lo revolucionario fueron esas ideas, no la observación.

Hipótesis # 1 (sobre la combustión): La herrumbre de un metal se debe a su oxidación, esto es, a su combinación con oxígeno, que es uno de los componentes del aire atmosférico. En el proceso inverso, el de formación de un metal a partir de cal (óxido), se libera oxígeno. Los esquemas de las reacciones en las que intervienen metales calentados son, pues, los siguientes:





Esos esquemas deben compararse con los esquemas [14.1] y [14.2] postulados por la teoría oficial del flogístico. (Ejemplo de la primera ley general es la fórmula de reacción “ $2\text{Hg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HgO}$ ”, ejemplificada a su vez por el experimento # 1. Ejemplo del segundo esquema es la reacción inversa, ejemplificada por el experimento # 2.) Debe observarse que el concepto de oxígeno era una construcción, exactamente igual que el concepto de flogístico: de hecho, el supuesto de que existe el oxígeno e interviene en ciertos procesos químicos no fue en modo alguno “derivado de la experiencia”, sino que se puso constructivamente, por lo que dio precisamente lugar a acaloradas discusiones. Desde el punto de vista epistemológico no hay diferencia entre los teóricos del flogístico y Lavoisier: unos y otros daban razón de la experiencia por medio de construcciones intelectuales. La diferencia importante es metodológica: las hipótesis de Lavoisier eran contrastables y, además, superaban las contrastaciones. Por tanto, es un error creer que lo que distingue la ciencia moderna es que evita hipótesis referentes a inobservables.

Hipótesis # 2 (sobre conservación de la masa): La masa total de un sistema aislado se conserva en el curso de sus transformaciones químicas. Sea A_i la masa de la i -ésima sustancia reactiva, y B_j la masa del j -ésimo producto reactivo. Entonces esta hipótesis, h_2 puede simbolizarse así:

$$A_1 + A_2 + \dots + A_n = B_1 + B_2 + \dots + B_n$$

He aquí un ejemplo de esa ley general: “ $\text{O}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ ”, cuya ecuación ponderada es: $(16 + 16)\text{g} + 2(1 + 1)\text{g} = 2 \cdot (2 \cdot 1 + 16)\text{g} = 36\text{g}$.

Se observará: primero, que h_1 es una hipótesis cualitativa y típicamente química, mientras que h_2 es cuantitativa y se refiere a un aspecto físico (la masa) de las reacciones químicas. Segundo: que mientras h_1 se refiere sólo a procesos de combustión, h_2 es universal para el campo de la química. Tercero: que h_1 es en alguna medida representacional: da razón del mecanismo de la oxidación; en cambio, h_2 es una hipótesis fenomenológica mientras no forme parte de una teoría atómica de las reacciones químicas.

Los anteriores experimentos no bastan para establecer la universalidad que pretende tener h_2 , pues sólo se refieren a combinaciones del concreto par mercurio-oxígeno: la conservación de la masa podría ser una idiosincrasia de esa pareja. Por ello Lavoisier contrastó h_2 para muchos otros casos mediante un uso metódico de la balanza. Y una vez consideró que h_2 estaba suficientemente confirmada –según las exigencias de su época–, dio sin vacilar el salto a la conclusión general de que la conservación de la masa vale universalmente, o sea, para toda reacción química que tenga lugar en un sistema cerrado. Este audaz salto ha permitido a los químicos usar heurísticamente el principio de conservación de la masa. Así, si cambia la masa total de un sistema en el que tiene lugar una reacción química, la variación de masa se atribuye a la violación de la condición de aislamiento, o sea, se supone que el sistema ha dejado escapar una cierta cantidad de materia: se trata, pues, de una pérdida que se le ha escapado a la observación, no a la teoría. Esa hipótesis ha tenido frecuentemente como resultado el descubrimiento de sustancias

que no son directamente accesibles a los sentidos; el propio oxígeno se descubrió de ese modo, y lo mismo ocurrió con el nitrógeno.

Un filósofo podría hacer notar que, incluso después de haber contrastado el principio de conservación de la masa en un par de millones de reacciones, puede hallarse una concreta reacción que false totalmente el principio: en sustancia, la hipótesis de Lavoisier no pasa de ser una hipótesis con apoyo inductivo, esto es, una hipótesis empírica y, por tanto, no hay razón concluyente en contra de que se gane o pierda peso en el curso de las reacciones químicas. Esta objeción sería válida si la hipótesis de Lavoisier hubiera quedado en el estado de hipótesis suelta, pero ha dejado de tener importancia en el momento mismo en que la hipótesis ha sido teorizada. Efectivamente: la ley h_2 de Lavoisier puede hoy deducirse de los supuestos básicos de la teoría química atómica sobre el mecanismo de la combinación y la disociación de los átomos. Esta teorificación de h_2 le ha dado un apoyo mucho más sólido que el que podía obtener por millones de nuevas confirmaciones empíricas, porque la ha incorporado a la red de enunciados legaliformes que abrazan el conjunto de la realidad física. (Sobre la explicación de leyes, cf. secs. 9.3 y 9.5.)

Pero la misma teoría que explica la ley de Lavoisier impone una pequeña corrección cuantitativa de ella. De hecho, la masa total de una molécula es algo menor que la suma de las masas de sus átomos componentes. Esta diferencia —el defecto de masa— pasa a la energía que vincula los átomos en la molécula, y es, por tanto, de suma importancia teórica, aunque no detectable en el laboratorio químico, cuyas escalas son insuficientemente sensibles para ello. Si las masas atómicas fueran estrictamente aditivas, no habría compuestos estables: toda combinación sería efecto de un encuentro casual de átomos indiferentes, y sería, por tanto, inestable; pero el hecho es que hay fuerzas de cohesión a las que corresponden energías de cohesión.

He aquí una primera moraleja metacientífica de lo que acabamos de narrar: la masa es objetivamente no-aditiva, aunque los *valores medidos* de las masas son aditivos en el contexto de la actual tecnología de la medición. Dicho de otro modo: la masa es físicamente (objetivamente) no aditiva, aunque empíricamente aditiva. Ocurre con ella más o menos lo mismo que con los esquimales, que todos parecen iguales para la vista de un europeo sin experiencia. (En cambio, la situación con la longitud es precisamente la contraria: hoy atribuimos toda no-aditividad empírica de las mediciones de longitud a defectos de los procedimientos de medición.)

Otra conclusión: las leyes científicas no dejan nunca de ser rectificables por mucha confirmación con que cuentan. Esta es una de las razones por las cuales hay que clasificarlas entre las hipótesis. Tercera conclusión: la confirmación no es nunca definitiva, aunque no sea sino porque puede utilizar siempre técnicas o ideas nuevas, así como criterios de rigor nuevos y más exactos. Cuarta conclusión: los enunciados de leyes no deben someterse perpetuamente a contrastaciones deliberadas, sino que, una vez que parecen corroborados con razonable solidez, deben utilizarse en la explicación, la predicción y la acción, incluyendo en ella el experimento. Las correcciones, pequeñas o grandes, aparecen frecuentemente por sí mismas, ya en el curso de la aplicación de las leyes o a causa de una vinculación completamente inesperada con alguna teoría nueva, como ocurrió con el defecto de masa que arruinó la exactitud de la ley de Lavoisier por una sugestión de la teoría de la relatividad, la cual no es relevante para la química sino a través de las teorías

físicas subyacentes a las químicas. Contemplemos ahora de cerca la clave del experimento: el control.

Problemas

14.1.1. Dilucidar los conceptos de experiencia y experimento. *Problema en lugar de ése*: Comentar el libro clásico de C. Bernard, *Introducción al estudio de la medicina experimental*, 1865, donde discute las diferencias entre observación y experimento.

14.1.2. Imaginar que se tiene que explicar a Aristóteles algún experimento moderno. No olvidar que hay que formular el problema, las hipótesis y la interpretación del resultado.

14.1.3. Escribir completamente la ecuación del equilibrio de las masas (ley h_2 de Lavoisier), o sea, añadir a la formulación vista las cláusulas de que el sistema tiene que estar aislado, tiene que componerse de dos o más sustancias reactivas, etc. Y observar si la fórmula completa refiere a alguno de los experimentos posibles que pueden contrastar la ecuación, o bien si refiere a un esquema real o estructura objetiva.

14.1.4. ¿Habría realizado Lavoisier los experimentos descritos en el texto si no hubiera tenido, como suele decirse, donde agarrarse? Discutir en general la frase defensiva “No tengo donde agarrarme.” ¿Refleja esa frase objetividad científica, imparcialidad científica, pobreza de ideas o miedo a las ideas? *Problema en lugar de ése*: Estudiar el papel de guía que han tenido las hipótesis en las investigaciones experimentales de Lavoisier y Priestley sobre el “aire desflogisticado” (oxígeno), y compararlo con la filosofía de la ciencia que esos científicos profesaron explícitamente.

14.1.5. La creencia popular –compartida por Aristóteles– de que las plantas comen tierra fue sometida a contrastación por J. B. van Helmont en el siglo xvii. Pesando la cantidad de tierra consumida por una planta, halló que el aumento de peso de ésta era mucho mayor que la pérdida de peso del suelo. Para realizar ese experimento plantó y cultivó plantas en macetas, las regó y expuso al sol, y utilizó una escala comercial. Indicar con precisión las hipótesis que entraban en conflicto en esta cuestión, las variables controladas y las que no lo fueron. Y discutir si valdría la pena añadir al dispositivo experimental una maceta con tierra, pero sin planta, como control, o si no la vale, porque el individuo experimental puede ser su propio control. Especular, si es posible, acerca de las razones que pueden haber retrasado durante tantos siglos ese sencillo experimento.

14.1.6. Los sociólogos dicen frecuentemente que la investigación sociológica basada en registros o cuestionarios acerca de hechos pasados no es meramente empírica, sino experimental: llaman a esas observaciones experimentos *ex post facto*. En este sentido, serían también objeto de la ciencia experimental la génesis de las montañas y la extinción de las especies biológicas, el nacimiento del estado moderno y otros procesos que han dejado huellas registradas por nosotros. Cf. E. Greenwood, *Experimental Sociology*, Nueva York, King's Crown Press, 1948. Hacer un examen crítico de la citada expresión ‘experimento *ex post facto*’.

14.1.7. Hacer un análisis detallado de un experimento científico. Fuentes que se sugieren: libros de texto de cualquier ciencia experimental y J. B. Conant (ed.), *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1957, 2 vols., así como M. L. Gabriel y S. Fogel, *Great Experiments in Biology*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1955.

14.1.8. ¿Es posible realizar experimentos en geología, en biología evolutiva, en arqueología y en sociología? Indicación: Antes de dar una respuesta negativa tajante, familiarizarse con algo del trabajo reciente realizado en esos campos.

14.1.9. Analizar alguno de los experimentos siguientes: (i) La expedición del *Kon Tiki*, diri-

gida por T. Heyerdahl en 1947 y proyectada para contrastar la hipótesis de que era físicamente posible una migración del Perú a la Polinesia (especialmente a las Islas de la Pascua); (ii) la travesía de los Alpes con elefantes, bajo la dirección de J. M. Boyte (1909), para contrastar la narración del cruce de los Alpes por Aníbal con dichos animales. ¿Qué probaron esos experimentos—si es que probaron algo—? ¿Pueden considerarse como experimentos propios de la historia? En general: ¿es posible el experimento histórico?

14.1.10. Examinar la posibilidad de la construcción de una estética experimental interesada por (i) la valoración estética (tal vez bajo forma de estimación de utilidades subjetivas) y (ii) la psicología de la experiencia estética. Cf. D. Berlyne (comp.), *Studies in the New Experimental Aesthetics*, Nueva York, Wiley, 1974.

14.2. CONTROL

Es conveniente distinguir entre el *planteamiento* experimental, por un lado, y, por otro, el *método* experimental y las *técnicas* experimentales, o sea, los procedimientos especiales usados para dar cumplimiento al método experimental. Los artesanos y los científicos adoptan un planteamiento experimental para ciertos problemas, en el sentido de que intentan resolverlos por el procedimiento de modificar deliberadamente ciertas condiciones objetivas y de someter a prueba sus supuestos y procedimientos, rectificándolos si es necesario a la luz de nueva experiencia y nuevas ideas. Tanto en el artesano cuanto en el científico, el planteamiento experimental se caracteriza por un control efectivo y autocorrector de las cosas y de las ideas sobre ellas. Pero los problemas del científico—y, por tanto, también sus fines y sus medios específicos—discrepan de los del artesano; los problemas del hacer, como reparar una máquina, mientras que el científico trata generalmente problemas de conocimiento, por ejemplo, descubrir los “principios” de una máquina, las leyes según las cuales ha sido proyectada. Mientras que el artesano y el técnico toman elementos de conocimiento para actuar, el científico actúa para conocer: donde los primeros aplican reglas que están mejor o peor fundamentadas, el último aplica o contrasta hipótesis (cf. cap. 11).

En el sentido estricto de la palabra, el método experimental consiste en someter un sistema material a ciertos estímulos, y en observar su reacción a éstos para resolver algún problema sobre la relación estímulo-respuesta; el problema puede consistir en la contrastación de una determinada hipótesis sobre esa relación, o en concebirla sobre la base de los datos factor-producto de la relación. En principio, el método experimental puede aplicarse en cualquier campo de la ciencia factual que estudie el presente. Pero la aplicación efectiva del método experimental dependerá en cada caso de las peculiaridades del problema: una cosa es estudiar los efectos de los rayos gamma sobre el crecimiento de las plantas y otra muy diferente estudiar el mecanismo causante de esos efectos; problemas diferentes exigen métodos experimentales especiales, o técnicas experimentales peculiares. Por eso el empleo del método experimental requiere la invención de toda una variedad de técnicas experimentales, tantas cuantas son las clases de problemas experimentales.

No se trata de que las técnicas experimentales especiales sean peculiares de las *disciplinas*: lo son de los *problemas* experimentales. Así, por ejemplo, el historiador puede

usar técnicas físicas para conseguir datos históricos o para contrastar hipótesis históricas; puede utilizar la técnica de fechado por el carbono radiactivo con objeto de averiguar la edad de un objeto, o el análisis por rayos X para descubrir la anterior historia de un palimpsesto o de una pintura. Como una evidencia es una información empírica acerca de un sistema físico, las técnicas físicas son susceptibles de utilización en toda disciplina factual, independientemente de la naturaleza de los *referentes* de la hipótesis de que se trate. (Sobre la distinción referencia-evidencia, cf. sec. 8.4.) Decir que las ciencias del hombre no pueden aprovechar las técnicas físicas porque no estudian sistemas puramente físicos es confundir las referencias con las evidencias. Sean o no sean los estados mentales meros estados del cerebro, toda pieza de evidencia científicamente utilizable en favor o en contra de cualquier hipótesis sobre acaecimientos mentales tendrá que ser de naturaleza física, y, por tanto, tendrá que controlarse por medios físicos. De no ser así, el método experimental no sería aplicable, como lo es, a la investigación de los estados mentales. En resolución: por espiritualista que sea en cuanto a sus referentes, la psicología de las funciones superiores tiene que ser metodológicamente conductista, si es que quiere ser científica.

Por diversas que sean en el detalle, las técnicas experimentales consisten siempre en procedimientos para la manipulación y observación —en resumen: el *control*— de las variables que, por alguna razón, se consideran relevantes para un determinado estudio. Hay que controlar a la vez las condiciones de *producción* de los hechos estudiados y las condiciones de la *observación*. Este último control es particularmente necesario si el proceso de observación perturba el objeto, pero en general hace falta siempre, porque lo que observamos son fenómenos, no hechos completamente objetivos e independientes de nuestros modos de observación. Por todo eso la invención de técnicas experimentales presupone la presencia de hipótesis sobre los factores o variables que pueden intervenir en una situación dada: tanto las variables que caracterizan los hechos mismos cuanto las que caracterizan el modo de observación seguido por el operador (por ejemplo, las coordenadas o los colorantes que use). Mientras no se cuente con esa lista de sospechosos, es imposible tomar medidas para controlarlos. Dentro del conjunto de todas las variables suspectas, las deliberadamente variadas por el experimentador se llaman variables *independientes*, y aquellas cuyos valores cambian como consecuencia de las variaciones de las primeras se llaman variables *dependientes*. (Aquí se supone la noción pragmática de dependencia, cf. sec. 6.1.)

Ahora bien: para establecer las diferencias introducidas mediante cambios de los valores de las variables independientes hace falta algún testigo o sistema de control, un sistema en el cual no se introduzcan esos cambios deliberados. En concreto, el testigo o *sistema de control* —y no la técnica misma de control, la cual es un procedimiento, no una cosa— puede ser el sistema mismo cuando no se encuentra sometido a la influencia de la que se supone que es causa de la variación productora del *sistema experimental* (cf. fig. 14.4). Por ejemplo: para investigar el efecto de la irradiación de una porción de materia (una botella de polystireno o un tejido vivo) mediante neutrones se miden ciertas variables antes y después de la irradiación, de tal modo que los estados pretéritos del sistema desempeñan el papel de control. Esta técnica puede usarse cuando el sistema no cambia apreciablemente antes de que empiece el experimento. Si no es así, hay que usar otra

técnica diferente: hay que establecer dos sistemas separados y disponer de ellos simultáneamente; son el sistema experimental y el sistema de control (o neutral). Y si hay variaciones individuales apreciables, como ocurre en las ciencias no-físicas y en la tecnología, entonces hay que escoger colecciones de sistemas semejantes, no ya individuos; o sea, hay que formar un *grupo* experimental y un *grupo* de control (o neutral), de tal modo que la única diferencia apreciable entre ellos se deba a los estímulos situados bajo control del experimentador y activos sobre el grupo experimental, no sobre el de control (fig. 14.4).

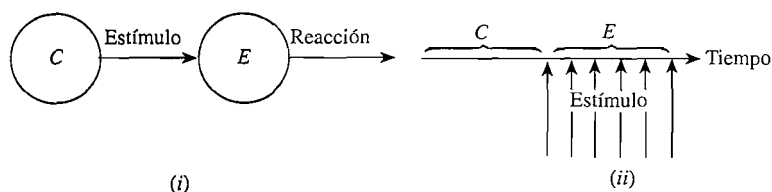


FIGURA 14.4. En (i) se observan simultáneamente dos sistemas análogos: el sistema de control *C* y el sistema experimental *E*, en (ii) el sistema antes de la aplicación del estímulo sirve como control de sus propios estados futuros.

Supongamos que deseamos averiguar si, y –caso afirmativo– en qué medida, una determinada pintura evita la oxidación del hierro. Tomamos dos trozos iguales de hierro o, por mejor decir, dos trozos de hierro perceptiblemente iguales, y aplicamos a uno de ellos (*E*) una capa de la pintura, dejando el otro (*C*) sin pintar. Los dos grupos se someten luego a las mismas condiciones de ambiente, y precisamente a aquellas que normalmente producirían la oxidación del hierro no protegido (salvo que el objetivo de la operación sea estafar a alguien, en cuyo caso se elegirán las condiciones más benignas). A continuación se observan las diferencias, si las hay, entre el grupo experimental y el grupo de control. Por último, basándonos en esta observación inferimos alguna “conclusión” sobre la efectividad de la pintura. Si el experimento ha sido cualitativo, la conclusión será cualitativa –por ejemplo, del tipo “La aplicación de nuestra pintura reduce sustancialmente la oxidación”. Los experimentos en los cuales se varían a la vez uno o más factores (variables) y en los que las diferencias se registran cualitativamente –o sea, en los que se registra la presencia o ausencia del efecto, pero no su cantidad– se llaman experimentos factoriales, o experimentos de *proyecto factorial*. La mayoría de los experimentos que suponen la medición de valores implican también la variación de un factor (la variable independiente) en algún momento; el plan según el cual se desarrollan se llama *proyecto funcional*. Sólo de los experimentos funcionales pueden obtenerse “conclusiones” cuantitativas; no puede haber respuestas cuantitativas a cuestiones que no lo sean.

Por de pronto, los grupos de control y experimental tienen que ser *homogéneos*, o sea, aproximadamente iguales en todos los factores relevantes. Esa homogeneidad es tanto más difícil de obtener cuanto más complejos son los sistemas y cuanto más exacto es nuestro planteamiento, pero en cualquier caso hay que obtener una homogeneidad aproxi-

mada si es que los resultados han de ser significativos, o sea, debidos al experimento y no a la elección de los individuos experimentales. Hay diversas técnicas en uso para controlar los valores iniciales de las variables relevantes y para obtener así una homogeneidad aproximada de los grupos. Hay dos clases de técnicas para la formación de éstos: individuales y colectivas. El *control individual* se consigue mediante el apareamiento simultáneo de individuos de los dos grupos: cada miembro del grupo de control se coordina con un miembro, aproximadamente equivalente, del grupo experimental. Por ejemplo: se introduce en el grupo experimental, para cada muchacha de veinte años de un determinado colegio, otra de la misma edad. Esta coordinación simultánea es difícil y costosa cuando el grupo es de grandes dimensiones, en cuyo caso se apela al control estadístico (cf. fig. 14.5). Hay dos clases principales de control estadístico: control de distribuciones y obtención de una muestra al azar. El *control de distribuciones* se practica cuando se puede poner en ecuación ciertos parámetros estadísticos, como los promedios, las dispersiones

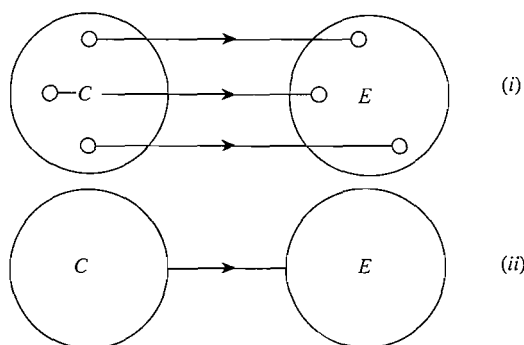


FIGURA 14.5. Control individual: cada miembro de E corresponde a un miembro de C (i). Control estadístico: E y C se corresponden colectivamente, como todos enteros (ii).

(desviaciones estándar) y acaso otras pocas propiedades colectivas (por ejemplo, medianas y modos). O sea: en estos casos se pasan por alto las composiciones individuales de C y E y no se controlan más que algunas de sus propiedades estadísticas. Por ejemplo: para estudiar la influencia de la televisión en el rendimiento escolar se toman dos muestras de niños de la misma edad promedio y el mismo promedio de niveles de escolaridad, así como con las mismas desviaciones medias respecto de esos promedios.

La coordinación simultánea y el control de distribuciones tienen sus ventajas y sus inconvenientes característicos, pero arrojan una deficiencia común: en ambos grupos es relativamente fácil proceder inadvertidamente a la formación de los grupos C y E con alguna tendenciosidad. Por ejemplo: es posible que, sin quererlo, acabemos formando el grupo E con los individuos más fuertes o más feos, por temer que el tratamiento experimental duro afecte perjudicialmente a los más débiles o más guapos. Esta posibilidad, siempre presente, se elimina si los dos grupos se forman *al azar*. Podemos, por ejemplo, lanzar una moneda a cara o cruz para cada par de individuos, dejando así al azar la decisión acerca de a qué grupo irá cada uno de ellos. También pueden arbitrarse otros mecanismos casuales, como, por ejemplo, la numeración de los individuos y su distribución luego entre los dos grupos de acuerdo con una tabla de números al azar. Por otra parte, y

aunque parezca raro, puede conseguirse el mismo efecto casual mediante una disposición cuidadosa de los sujetos. Un expediente de este tipo es el artificio llamado *cuadrado latino*. Supongamos que hay que determinar el rendimiento de tres variedades de plantas, A, B y C. Para conseguir que la fertilidad del suelo, la insolación, el efecto de los vientos, la humedad, etc., tengan efectos al azar, podemos utilizar la siguiente ordenación de las plantas en el suelo:

A	B	C
B	C	A
C	A	B

De este modo las tres variedades reciben las mismas oportunidades, que es lo característico de un proyecto no tendencioso de experimentación. Por medio de esas técnicas todas las variables (en su mayor parte desconocidas) que no caen bajo control se distribuyen al azar, de tal modo que las diferencias de rendimiento entre el grupo C y el grupo E pueden atribuirse con confianza a las variaciones de las *variables independientes* y a nada más. (Por otra parte, puede aplicarse la teoría de la probabilidad al control de las inferencias practicadas a partir de los resultados del experimento.) Si la situación no es ésta, siempre podremos sospechar que las diferencias de rendimiento se deben a una casual acumulación de individuos privilegiados en uno de los grupos. Esta *hipótesis del cero* no puede refutarse más que construyendo los grupos al azar. La técnica de *casualización* (R. A. Fisher), al minimizar la posibilidad de una selección tendenciosa, nos suministra un procedimiento de homogeneización que contribuye en gran medida a la objetividad y consistencia de las contrastaciones, propiedades particularmente necesarias en las ciencias del hombre. Pero, de todos modos, esa técnica no debe entenderse como incompatible con la coordinación simultánea, sino que puede usarse junto con ella: en este caso, la coordinación individual se aplicará a las variables observables que se tomen explícitamente en cuenta, mientras que la obtención de muestras al azar se referirá a las variables que no se tomen explícitamente en cuenta, pero que puedan dar lugar a alguna diferencia. Así se consigue el grupo de control más completo: un grupo que es individual en algunos aspectos y estadístico en todos los demás.

Una vez formados el grupo C y el grupo E puede empezar el experimento: pueden aplicarse a E los estímulos y estimarse, cuantitativamente o no, los rendimientos de E en relación con el comportamiento de C. Las diferencias de rendimiento pueden ser significativas o no serlo: es la estadística la que debe decidir al respecto. Por último se “inferirán” algunas “conclusiones” a partir del resultado del experimento, algunas conjeturas propuestas provisionalmente con base en las diferencias significativas entre C y E; esas diferencias se controlan por medio de la estadística, la ciencia que controla el salto de los datos a las “conclusiones” de nivel bajo.

Por tanto, un experimento contiene las operaciones siguientes:

1. *Elección del problema.*
2. *Identificación de las variables* que se suponen relevantes y, por tanto, necesitadas de control.
3. *Proyecto o plan del experimento.*
4. *Formación de grupos C y E homogéneos.*
5. *Aplicación del estímulo a E.*
6. *Observación y/o medición* de los rendimientos de C y E.
7. *Juicio sobre la significación* de las diferencias de comportamiento entre C y E.
8. *Inferencia* sobre la(s) relación(es) entre las variables independientes y dependientes.
9. *Control de la anterior inferencia* por la teoría relevante, cuando se disponga de ésta.

Los estadios 3 y 6-9 nos ocuparán más tarde. Digamos ahora algo sobre la aplicación del estímulo, la operación 5. Este estímulo puede ser “positivo” —o sea, un agente externo que obre sobre el grupo experimental— o “negativo” —o sea, la eliminación de algún elemento que normalmente ocurra y esté presente en el grupo de control. Este último tipo de estimulación es muy frecuente en el caso de las ciencias no-físicas, especialmente cuando se estudia la función de una sustancia, un órgano o una institución. Así, por ejemplo, si se está estudiando la función de la corteza cerebral, el experimentador puede, por ejemplo, enseñar a un grupo de ratones alguna tarea, como la discriminación de formas visuales, y luego extirpar la totalidad o parte de la corteza cerebral de los animales constitutivos del grupo experimental, y comparar su rendimiento con el del normal grupo de control, que pueden ser los mismos ratones antes de la extirpación. Si la extirpación de la corteza no altera sustancialmente la capacidad de aprendizaje, se “infiera” que aquélla no es esencial para el aprendizaje mismo, al menos, para el de la clase utilizada.

En algunos casos no es posible aplicar los estímulos a sistemas reales, ya a causa de limitaciones técnicas, ya por frenos morales. En esos casos pueden practicarse experimentos con *modelos*. Así, por ejemplo, los ingenieros construirán modelos de diques a pequeña escala, o de redes ferroviarias, de aviones, etc., y someterán esos modelos a estímulos de la clase que interesa, para extrapolar luego los resultados al sistema original; análogamente, el farmacólogo usará ratas o cerdos como modelos hombre. Cuando ni siquiera pueden conseguirse esos modelos concretos, se imagina un modelo conceptual que imite algunos rasgos del sistema real y se practican (mentalmente) en él algunos cambios para estimar las reacciones correspondientes con la ayuda de alguna teoría. Se llama *modelado* a esta proyección de modelos conceptuales, y *simulación* al sometimiento del modelo a cambios imaginarios. El par modelado-simulación se llama *experimento mental*.

Los experimentos mentales son cada vez más frecuentes en tecnología. Por ejemplo: las cualidades acústicas de un auditorium (o la fidelidad de un sistema de transmisión de ondas) puede estudiarse modelándolo primero en papel y simulando luego el sistema y su comportamiento en una calculadora, y siempre con la ayuda de la teoría. También puede modelarse el comportamiento probable de una comunidad humana ante un desastre, y simularse en una calculadora sobre una base probabilitaria sugerida por algún previo estudio estadístico de la correspondiente comunidad real y por ciertas generalizaciones empíricas sobre el comportamiento humano en tales circunstancias.

El experimento mental, y particularmente la modelación y la simulación en calculadoras, está ocupando el lugar de mucho experimento efectivo en la ciencia aplicada, en la medida en que se dispone de enunciados de leyes verosímiles. Y no podría ser de otro modo, pues la calculadora no recibe más que los datos y la relación *input-output*, y su única tarea es averiguar el *output*: la calculadora permite que la simulación sea factible, rápida y económica, pero ningún simulatum puede sustituir a la realidad. Consiguientemente, el experimento mental puede sustituir al real cuando no se intenta *contrastar* teorías, sino *aplicarlas*: el experimento mental es admirablemente adecuado para poner a prueba sistemas concretos (cosas o seres humanos) a base de ideas que haya superado ya la contrastación por experimentos reales. Por eso tiene un futuro sin duda brillante en la ciencia aplicada (tecnología) y no tiene futuro alguno en la ciencia pura, puesto que ni produce teoría ni la somete válidamente a contrastación.

Ahora que estamos en claro acerca del papel central del control efectivo en el experimento podemos echar un vistazo al planeamiento del mismo.

Problemas

14.2.1. Establecer una comparación entre el esquema de procedimiento de un fontanero llamado para reparar una avería y el esquema de comportamiento de un científico que ha imaginado un experimento y se dispone a llevarlo a cabo.

14.2.2. Analizar el experimento por el cual se “demuestra” (se muestra) que las plantas emiten vapor de agua. Se dejan durante una noche en las mismas condiciones dos macetas, una con planta y otra sin planta, encerradas en un recipiente de vidrio estanco. A la mañana siguiente se observa humedad en el tabique del recipiente que contiene la planta. *Problema en lugar de ése*: Si los estados mentales fueran irreductiblemente privados, o sea, no objetificables, el estudio de la inteligencia y de la mente en general no podría plantearse desde fuera, sino sólo desde dentro (por introspección) y, por tanto, jamás podría practicarse experimentación propiamente dicha en psicología. ¿Es efectivamente ésa la situación? Si no lo es, ¿qué justificación tiene la filosofía mentalista?

14.2.3. Comentar alguno de los siguientes casos de control incompleto. (i) R. Boyle no controló la temperatura en sus experimentos sobre la expansión de los gases, simplemente porque no se le ocurrió que la temperatura pudiera ser una variable relevante en ellos. (ii) L. Thomas descubrió por casualidad que inyectando papáina a conejos se quedaban éstos con las orejas caídas. Hizo numerosas observaciones para averiguar la causa del hecho, pero no halló nada hasta que, bastantes años más tarde, comparó cortes de orejas normales y caídas: la comparación mostró un cambio en la matriz del cartílago, antes considerado como tejido inactivo. Cf. B. Barber y R. C. Fox, “The Case of the Floppy-Eared Rabbits: An Instance of Serendipity Gained and Serendipity Lost”, en B. Barber y W. Hirsch (comps.), *The Sociology of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962.

14.2.4. Antes de que se adoptaran en Estados Unidos las vacunas Salk y Sabin contra la poliomielitis se ensayaron a amplia escala nacional. Se eligieron dos grandes grupos de niños, del orden de un millón cada uno: se administró la vacuna a los niños de un grupo, y a los otros se les inyectó agua destilada. Ni los niños ni sus padres supieron qué era lo que se les administraba. ¿Por qué se tomó esa precaución?

14.2.5. En medicina experimental se administra frecuentemente placebos (píldoras sin contenido farmacológico, o agua destilada) a los individuos del grupo de control, con objeto de igualar

los dos grupos respecto del condicionamiento de los pacientes por sugestión. Consiguientemente, se actúa sobre los dos grupos de pacientes, el sujeto a tratamiento (*E*) y el neutral (*C*): en cierto sentido, los dos son, pues, grupos experimentales. Discutir este efecto del placebo e intentar una nueva definición del concepto “grupo de control” que recoja los casos de utilización de placebos. Indicación: pensar a base del concepto de estímulos relativos (o diferenciales), o de agentes experimentales, no a base de cambios absolutos de las variables manipulables.

14.2.6. Las pruebas clínicas arrojan algunos “positivos falsos” y “negativos falsos”. ¿Cómo se sabe? y ¿Cuál es la consecuencia de esto para la epistemología?

14.2.7. Imagínese un experimento para poner a prueba la hipótesis freudiana de que la conducta agresiva es instintiva. Véase V. H. Denenberg y M. X. Zarrow, “Rat pax”, *Psychology Today*, 3, núm. 12, 1970.

14.2.8. Se dice a menudo que no habría ciencia alguna si los experimentos no fueran indefinidamente repetibles o si dieran cada vez un conjunto diferente de resultados. Si eso fuera verdad, la física presupondría que el universo es espacial y temporalmente uniforme, o sea, que no cambia ni respecto del lugar ni respecto del tiempo, como dice la teoría cosmológica del estado constante; cf. H. Bondi, *Cosmology*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1960, pp. 11-12. ¿Es verdadera aquella inicial suposición, o sea, presupone efectivamente la ciencia la repetibilidad indefinida de particulares condiciones?

14.2.9. Estudiar la naturaleza y la función del experimento mental —como, por ejemplo, el caso del microscopio de rayos gamma, de Heisenberg— en la investigación pura. Cf. K. R. Popper, *The Logic of Scientific Research*, 1935; edición inglesa, Londres, Hutchinson, 1959, apéndice IX, en el cual se mencionan las siguientes funciones del experimento mental: (i) función crítica, para la refutación de hipótesis; (ii) función heurística, para ayudar a concebir hipótesis, y (iii) función apologética, para defender teorías contra su crítica.

14.2.10. Estudiar la naturaleza y la función del modelado y la simulación en la investigación. ¿Es posible que la simulación remplace al experimento?

14.3. PROYECTO

La planificación o el proyecto de un experimento depende del problema experimental que se espera resuelva. Dicho de otro modo: el diseño de experimentos depende de la cuestión planteada y del contexto de la cuestión, esto es, del trasfondo teórico disponible, de las técnicas con que se cuenta, de la clase de datos que se espera y de la exactitud requerida. Una cosa es dar respuesta, en ausencia de teoría, a la cuestión de si dos variables psicológicas están efectivamente correlatadas —o sea, contrastar una hipótesis programática de la forma “*x* e *y* son covariantes”—, y otra muy distinta contrastar con exactitud del 5% una precisa ley numérica de la psicología matemática. Los proyectos experimentales tienen que cortarse a medida, a tenor de las cuestiones experimentales, y éstas se formulan dentro de un marco determinado de conocimiento.

Ahora bien: puesto que el experimentar se reduce a controlar variables, los problemas experimentales pueden clasificarse —desde un punto de vista metodológico— según la clase de control que conllevan. La clase de control reflejará a su vez no sólo el rigor al que se aspira, sino también ciertas propiedades objetivas de las variables experimentalmente manipulables. Las variables que experimentan amplias fluctuaciones estadísticas

—como la fertilidad del suelo y la inteligencia— requerirán un control estadístico, mientras que si esas fluctuaciones quedan dentro de límites estrechos —como en el caso de las distancias y las duraciones— será posible un control preciso de las variables.

En todo trabajo experimental se utilizarán técnicas estadísticas en el curso de la *estimación* de los resultados experimentales, en particular cuando llega el momento de estimar el valor medio y la dispersión media en torno suyo. Cuando todas las variables relevantes se controlan precisa e individualmente, la estadística no aparece hasta el estadio final, rara vez en la proyección del experimento. Pero cuando el control de las variables es él mismo estadístico, como frecuentemente ocurre en el caso de la ciencia del comportamiento y en la investigación aplicada —por ejemplo: en ingeniería y en agronomía—, las técnicas estadísticas se usan en la estimación del experimento y en su planeamiento. Por eso es razonable distinguir entre dos grandes clases de proyección de experimentos y, consiguientemente, de contrastaciones experimentales: experimentos *estadísticos* y experimentos *no-estadísticos*. Presentaremos a continuación seis casos, los tres primeros de los cuales son no-estadísticos, mientras que los últimos son de proyecto estadístico.

Experimento # 1: Producción de aminoácidos bajo posibles condiciones primitivas de la Tierra: S. Miller, *Science*, 117, 528, 1953. *Problema:* ¿Pudo emerger espontáneamente la vida a partir de la materia inerte? *Hipótesis* a contrastar: los compuestos orgánicos que constituyen los sillares de los organismos se formaron espontáneamente en una época en la cual la atmósfera terrestre se componía de metano, amoníaco, vapor de agua e hidrógeno; y la síntesis de los compuestos orgánicos fue activada por descargas eléctricas y radiación ultravioleta. *Procedimiento de contrastación:* Se construyó un modelo a pequeña escala de la hipotética atmósfera primitiva y se trabajó sobre él (cf. fig. 14.6). Se trató el contenido con un germicida para excluir la posibilidad de que algunos microorganismos produjeran los compuestos orgánicos. Al cabo de una semana el agua se había vuelto turbia y rojiza. Las pruebas de identificación mostraron que se habían formado tres aminoácidos diferentes, entre ellos la α -alanina, $\text{CH}_3\text{-CH-NH}_2\text{-COOH}$.

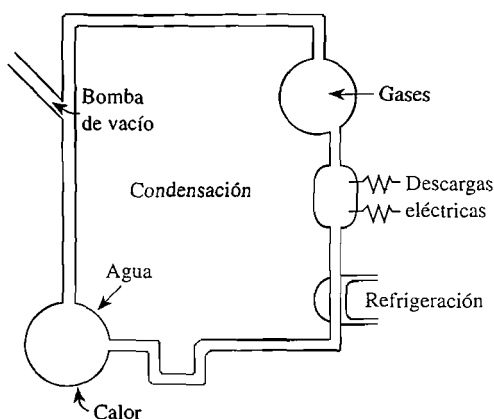


FIGURA 14.6. Modelo de atmósfera primitiva. La cámara de gases contenía CH_4 , NH_3 y H_2 .

Experimento # 2: Tratamiento de las neurosis por inhibición recíproca: J. Wolpe, *British Journal of Psychology*, 43, 243, 1952. *Problema:* ¿Está condicionada la neurosis? *Primera hipótesis:* La neurosis puede inducirse experimentalmente. Procedimiento de *contrastación:* Se eligen unos gatos y se les condiciona para que busquen píldoras de alimento al sonido de un zumbador. Una vez que han aprendido ese comportamiento, reciben descargas eléctricas cada vez que se dirigen a coger el alimento. Como consecuencia, presentan un comportamiento cada vez más neurótico, principalmente ansiedad y negativa a comer. *Segunda hipótesis:* La alimentación puede inhibir esas reacciones neuróticas, igual que éstas habían inhibido la alimentación (inhibición recíproca). Procedimiento de *contrastación:* Se da ahora alimento a esos mismos gatos en ausencia de estímulos suscitadores de ansiedad, y luego en presencia de pequeñas, pero crecientes, dosis de tales estímulos: al cabo de unas cuantas sesiones no quedan restos de neurosis. *Comprobación:* Para asegurarse de que las reacciones neuróticas se han eliminado y no se encuentran ocultas, en estado de adormecimiento ("reprimidas"), se elimina experimentalmente la respuesta (buscar comida) al zumbador. Una vez que los gatos han olvidado aquella asociación, empieza la última parte, recién descrita, del experimento: se les ofrece comida mientras se les estimula auditivamente. Resultado: no se observó ninguna inhibición respecto del alimento. Los gatos estaban curados.

Experimento # 3: Influencias del grupo en la formación de normas y actitudes: M. Sherif, *Sociology*, 1, 90, 1937. *Problema:* ¿Está la percepción influida por la opinión dominante? *Hipótesis:* Si la opinión tiene alguna influencia en la percepción, será tanto más fuerte—y, por tanto, más fácil de detectar—cuanto menos tajantes y espontáneos sean los juicios de percepción. Procedimiento de *contrastación:* El sujeto se coloca en una situación inestable, aislado primero, y luego en un grupo; luego se invierte el orden y se registran las diferencias de comportamiento. Situación inestable adecuada es aquella en la cual el sujeto se coloca en una habitación oscura sin más que una fuente de luz pequeña, puntual. El sujeto no tiene marco de referencia fijo y sufre la ilusión de que la mancha de luz se mueve, siendo así que está quieta. La descripción que da del movimiento está intensamente influida por las opiniones expresadas por otros sujetos del mismo grupo, algunos de los cuales están de acuerdo con el experimentador. La convergencia de opinión es mayor cuando el sujeto empieza el experimento en una situación de grupo y sin tener la posibilidad de formarse una norma individual.

Describamos ahora tres experimentos en los proyectos de los cuales la estadística desempeña un papel central, hasta el punto de considerárseles *contrastaciones estadísticas*.

Experimento # 4: Base genética de la capacidad de aprendizaje: R. C. Tryon, en F. A. Moss (ed.), *Comparative Psychology*, Nueva York, Prentice Hall, 1942. *Problema:* ¿Es innata o adquirida la capacidad de aprendizaje? *Hipótesis:* Si la capacidad de aprendizaje es innata, puede aumentarse mediante selección artificial. Procedimiento de *contrastación:* Se selecciona un grupo de ratones biológicamente uniformes y se les entrena en el aprendizaje de laberintos. Sobre la base de sus rendimientos, los ratones se dividen en dos grupos: los que aprenden deprisa y los que aprenden despacio. Luego se aparean los individuos del mismo grupo y su descendencia se somete al mismo tratamiento: los rápidos se aparean con rápidos y los lentos con lentos. Al cabo de ocho generaciones se obtienen dos líneas de descendencia que presentan una diferencia significativa en cuanto

a la capacidad de aprendizaje en laberintos. Inferencia: la capacidad de aprendizaje es hereditaria. (Sin embargo, véase abajo.)

Experimento # 5: Dependencia del rendimiento respecto de la motivación: H. J. Eysenck, *Scientific American*, 208, núm. 5, 1963. *Problema:* ¿Es la motivación relevante para el rendimiento?, y, de serlo, ¿cómo? *Hipótesis:* Cuanto mayor sea la expectativa de premio, tanto mejor el rendimiento. *Procedimiento de contrastación:* Se toman dos grupos de aspirantes a un trabajo muy bien pagado, grupos contruidos al azar, y se les propone una tarea de rendimiento, la cual pueda medirse cuantitativamente. El sujeto tiene que intentar clavar un punzón en un pequeño blanco fijado a una placa giratoria de revolución rápida. Un motor eléctrico mide la velocidad de la placa. Se dice al grupo de control que el resultado de la contrastación no tendrá peso alguno sobre su situación profesional, y al grupo experimental se le convence de que el resultado influirá en la decisión sobre su empleo. En este caso el estímulo es una idea. *Resultado:* Al cabo de un rato, el rendimiento del grupo estimulado intensamente es significativamente superior al del grupo escasamente estimulado. Como todas las demás variables relevantes (habilidad innata, experiencia, etc.) han sido distribuidas al azar, la única variable independiente es la motivación y la sola variable dependiente el rendimiento. Además, la relación entre ambas se convierte en un medio para medir la intensidad de la motivación.

Experimento # 6: Videncia: G. P. Price, *Science*, 122, 359, 1955. *Problema:* ¿Es verdadera la hipótesis de la videncia? *Hipótesis:* Si la videncia es una capacidad real, se manifestará a pesar de todas las precauciones que se tomen para evitar la ilusión y el fraude. *Procedimiento de contrastación:* Se barajan muchas veces automáticamente varias barajas (es muy difícil imitar la casualidad perfecta partiendo de un orden). Se colocan las cartas en recipientes metálicos que se cierran por soldadura; se microfotografían las soldaduras. Luego se presentan los recipientes al vidente, el cual debe decir lo que va dentro, sin abrirlos, naturalmente. Se graban sus declaraciones en cinta magnetofónica. Luego se mandan los recipientes al experimentador, el cual comprueba las soldaduras y los abre. Se extraen las cartas mecánicamente y se compara su orden real con las declaraciones del vidente. Se filma toda esa operación. Este experimento no se ha practicado nunca: los parapsicólogos más conocidos se rebelaron contra la propuesta considerándola insultante, pero el hecho es que no recogieron el desafío. Todos los experimentos adscritos pueden criticarse con detalle y en todos sus puntos: desde el proyecto hasta la interpretación pasando por la realización efectiva. Por ejemplo: la inferencia obtenida a partir del Experimento # 4, según la cual la capacidad de aprendizaje es hereditaria, no es concluyente en vista de los experimentos de R. Melzak y W. T. Thompson, en 1956 que muestran que la capacidad de aprendizaje de animales criados en condiciones de aislamiento es muy inferior a la normal. Junto con el experimento # 4 estos otros sugieren que la capacidad de aprendizaje (o inteligencia) se debe tanto a factores hereditarios como ambientales. Ninguna parte de ningún experimento científico está por encima de toda crítica, y ésta es precisamente una razón que justifica el llamarlos experimentos *científicos*, y no experiencias místicas; otra razón en el mismo sentido es que todo experimento científico se proyecta con base en alguna teoría científica, y con la ayuda de las reglas del método científico.

Atendamos ahora a la inferencia sobre la significatividad de las diferencias *C-E*.

Problemas

13.4.1. Discutir las precauciones tomadas en el experimento resumido en el texto. ¿Para qué se toman? ¿Para facilitar la confirmación de las hipótesis afectadas o, por el contrario, para evitar que se beneficien de una corroboración fácil e irrelevante?

13.4.2. Imaginar aplicaciones posibles del resultado del Experimento # 3 en el terreno de la educación (o sea, para la cría de hombres dóciles que asientan a todo).

13.4.3. Examinar la difundida idea de que el experimento es exactamente lo mismo que el conjunto de operaciones efectivas (por ejemplo, lectura de aparatos de medición) requeridas por la experimentación.

13.4.4. Los experimentos cuantitativos requieren mediciones. ¿Vale la recíproca para toda clase de mediciones? ¿Qué puede decirse sobre esto a propósito de las mediciones practicadas en la física atómica y nuclear, que suponen el uso de dispositivos para la desintegración de los átomos?

13.4.5. En un proyecto factorial se incluyen todas las variables o factores sospechosos de relevancia, con objeto de recoger las posibles interacciones entre ellos. Estudiar esa técnica a propósito del desideratum de la variación independiente de los factores. Cf. R. A. Fisher, *The Design of Experiments*, 6a. ed., Edinburgh y Londres, Oliver and Boyd, 1951, cap. vi.

13.4.6. Planear un experimento para someter a contrastación la popular idea de que las patas de conejo (o cualesquiera otros amuletos) traen buena suerte. (Y planearlo de tal modo que no se perjudique a los sujetos del experimento.)

13.4.7. La hipótesis de que los ruidos perjudican el aprendizaje pertenece al conocimiento ordinario. Para contrastarla y afinarla, averiguando en qué medida afecta el ruido al aprendizaje, hay que concebir y llevar a cabo algún experimento. Planear uno o dos.

13.4.8. Planear un experimento para averiguar el porcentaje de estudiantes dispuestos a copiar en los exámenes si disponen de una posibilidad con poco riesgo. Discutir el valor de la técnica de los cuestionarios para este caso concreto.

13.4.9. H. Hertz no habría podido, probablemente, planear su experimento sobre la producción y la detección de ondas electromagnéticas si no hubiera sido por la teoría electromagnética de Maxwell, la cual le suministró algo que someter a contrastación y le sugirió, además, el modo de hacerlo. Análogamente, la fantasía de algunos físicos contemporáneos no estaría solicitada por el planeamiento de posibles generadores de ondas gravitacionales si no fuera por la teoría einsteniana de la gravitación. Estudiar esta última situación y decidir si la teoría ha progresado lo suficiente como para sugerir modos de contrastarla.

13.4.10. La mayor parte de las contrastaciones practicadas en ingeniería, agronomía y psicología personal y de la educación no contrastan ideas, sino cosas y personas. Estudiar las diferencias entre los dos tipos de contrastación, y determinar si la intervención de ideas en la contrastación tecnológica constituye alguna garantía de que lo contrastado sean las ideas mismas. Recordar el cap. 11. *Problema en lugar de ése*: Examinar la tesis de que el trabajo de laboratorio consiste en hacer y leer “inscripciones”. Cf. B. Latour y S. Woolgar, *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, Londres y Beverly Hills, Sage, 1979; M. Bunge, *Sociología de la ciencia*, Buenos Aires. Sudamericana, 1998.

14.4. SIGNIFICACIÓN

Una vez realizado el experimento propiamente dicho, hay que interpretar y evaluar su resultado. En primer lugar, tenemos que descubrir si los estímulos dieron efectivamente lugar a alguna diferencia, o sea, si las diferencias entre el sistema experimental y el sistema de control —pues siempre habrá alguna diferencia— son *significativas* o son efecto de variaciones casuales (no controladas). Sólo en el caso de que las diferencias sean reales o *significativas* podemos plantear la cuestión siguiente acerca de su relación con el *input* que se ha aplicado. Y una vez averiguada dicha relación *input-output*, hay que intentar explicarla por medio de alguna teoría ya disponible o mediante la construcción de otra nueva. Tratemos primero el problema de la significación.

Supongamos que se ha llevado a cabo un *experimento no-estadístico*, toda medición del cual se ha repetido cuidadosamente varias veces. Lo primero que hay que hacer con la masa de datos en bruto es someterla a un análisis estadístico. Para descubrir posibles errores sistemáticos (cf. sec. 13.6). Si no se descubren tales errores —o si, descubiertos, se corrigen y se practica toda una nueva serie de mediciones—, la primera tarea con que se encuentra a continuación el experimentador consiste en condensar el acervo de datos en bruto en un conjunto de proposiciones mucho más reducido que pueda a su vez exponerse en una tabla, resumirse (y generalizarse) en una ecuación o visualizarse en un gráfico. En la figura 14.7 se ha dibujado un gráfico imaginario en el cual los márgenes de error (las desviaciones estándar en torno de los valores medios) se indican por rectángulos; las bases de los rectángulos representan los márgenes de error para x , mientras que sus alturas representan los márgenes de error para y . Unos cuantos puntos aislados pueden encontrarse lejos de la tendencia general. Estos puntos desviados pueden ser genuinos o deberse a errores sistemáticos, causados, por ejemplo, porque el operador haya movido inadvertidamente una pieza del aparato. Cuando un punto aislado se encuentra separado de la línea de tendencia general por una distancia de más de tres unidades de error estándar en el correspondiente gráfico de frecuencia —cf. fig. 13.4 de la sec. 13.6—, puede pasarse por alto como error experimental. Tal vez el punto desviado no sea tal, y una posterior in-

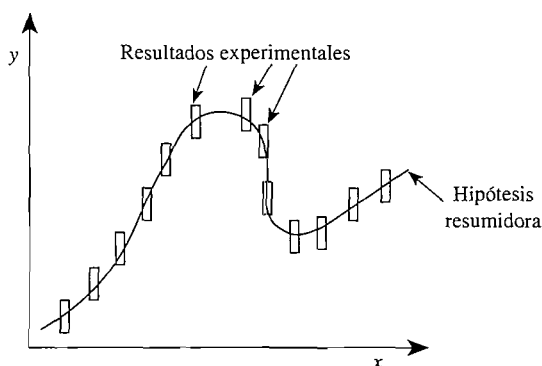


FIGURA 14.7. Resumen de resultados experimentales referentes a dos variables: la variable independiente o de control, x , y la variable dependiente, y .

vestigación pueda recuperarlo; pero en cada estadio hay que tomar una decisión, y la regla que acabamos de dar es de tolerancia suficiente.

Una vez cribados los datos experimentales puede hacerse con ellos cualquiera de las siguientes cosas. Una es sugerir una *nueva hipótesis cuantitativa* sobre las variedades bajo control, o sea, un nuevo enunciado legaliforme referente a esas variables. Otra posibilidad es usar los datos para *contrastar o volver a contrastar* una hipótesis previamente disponible. Una tercera posibilidad es la de *contrastar la validez de la técnica experimental* misma: éste será el caso cuando se esté ensayando un nuevo proyecto experimental sobre la base de una teoría ya corroborada. En cualquier caso, las respuestas dadas por experimentos cuantitativos o funcionales son en la mayoría de los casos bastante inequívocos, al menos por lo que hace a la significación de las diferencias entre el sistema de control y el sistema experimental. Cuanto más pensamiento se invierte en las ideas que hay que contrastar, tanto menos esfuerzo es necesario para establecer la significación del resultado: ésta es una de las ventajas del experimento cuantitativo respecto del cualitativo (del factorial, por ejemplo).

Supongamos ahora que tenemos los resultados de un *experimento estadístico*, resultados cualitativos o cuantitativos. Como tanto el sistema o grupo experimental cuanto el de control están sometidos a fluctuaciones estadísticas, por fuerza aparecerán algunas diferencias entre ellos, aunque no haya ningún estímulo en obra sobre el grupo “experimental”. Por ejemplo, al contrastar hipótesis sobre la eficacia de un fertilizante, podemos hallar que una parcela tratada con él da una cosecha mayor que la parcela de control, pero puede ser también que la diferencia sea una coincidencia casual producida por la acumulación de hechos no controlados, como por ejemplo diferencias en la fertilidad del suelo. Para inferir una diferencia significativa no nos basta con un buen proyecto experimental que dé cabida al efecto de las variables no controladas —por ejemplo dividiendo la tierra de acuerdo con la técnica del cuadrado latino (cf. sec. 14.2); necesitamos además una *contrastación estadística de significación*. Sólo una vez superada esa contrastación podemos pasar a calcular el valor de la correlación, si la hay, entre las dos variables (en el ejemplo: rendimiento de la cosecha y cantidad de fertilizante).

Hay varias contrastaciones de significación (χ^2 , t , F , etc.). En todas ellas se presentan las diferencias entre los valores de la variable dependiente (por ejemplo, el rendimiento de la cosecha) en el grupo de control y en el grupo experimental. Llamemos a esas diferencias $C_i - E_i$. Nos interesan sus valores absolutos, o sus cuadrados, no los signos de las diferencias, puesto que nuestra intención es simplemente averiguar si son casuales o no. Aún más: lo interesante son las razones $(C_i - E_i)^2 / C_i$, no los valores absolutos, y aún más precisamente todas esas razones juntas, o sea, sumadas. Por tanto, una buena medida de las diferencias entre los resultados relativos a C y los referentes a E es la siguiente suma, llamada χ^2 (chi cuadrado):

$$\chi^2 =_{\text{df}} \sum_i (C_i - E_i)^2 / C_i \quad [14.5]$$

Un valor pequeño de χ^2 sugiere que la diferencia observada no es significativa, mientras que un valor grande se interpreta como asociación real entre la variable dependiente (por ejemplo, rendimiento de la cosecha) y la variable independiente (por ejemplo, la

cantidad de fertilizante). Como ‘pequeño’ y ‘grande’ son palabras vagas, necesitamos reglas más precisas si es que hay que contar con un procedimiento de decisión para afirmar o negar la significación de las diferencias halladas entre C y E . La estadística da un preciso procedimiento de decisión, pero aquí no podemos entrar en detalles técnicos: basta con indicar que la cuestión ‘¿Cuánta significación tiene la diferencia dada?’ puede recibir una respuesta precisa.

En todo caso, si χ^2 se encuentra por debajo de un cierto mínimo, no hay diferencia sistemática entre C y E : las diferencias pueden ser reales, pero al azar, no efectos del estímulo. En este caso se dice que se ha establecido la *hipótesis del cero*, o hipótesis de la casualidad. Si tal es el caso, se eliminan de una vez las infinitas relaciones posibles entre las dos variables, y el experimentador puede pasar a estudiar otro par. Pero si χ^2 sobrepasa ese mínimo, queda refutada aquella hipótesis y se establece una *hipótesis programática*, a saber, que las variables independiente y dependiente se encuentran en alguna relación sistemática. La forma precisa de tal asociación queda abierta para investigación ulterior, en el caso, naturalmente, de que el experimentador tenga clara consciencia de que no ha superado más que un estudio exploratorio, y de que su objetivo, el descubrimiento de la estructura, está aún por alcanzar.

La estrategia de la investigación en el caso del experimento estadístico puede resumirse como sigue:

1. *Formulación de hipótesis de trabajo rivales:*

h_0 (*hipótesis del cero*): no hay diferencia sistemática $C-E$; no hay ley

h_1 (*hipótesis programática*) hay diferencia sistemática $C-E$; hay ley

2. *Ejecución del experimento.*

3. *Contrastación de la significación.*

4. *Inferencia:* si se confirma h_0 , interesarse por otros pares de variables. Si se refuta h_0 , inferir la relación sistemática (pero aún desconocida) entre las variables, y pasar al paso siguiente.

5. *Problema nuevo:* calcular los grados de asociación sistemática entre las dos variables.

Si la diferencia $C-E$ es significativa de acuerdo con alguna de las contrastaciones pertinentes, la tarea inmediata será calcular la intensidad de la asociación o covariancia entre las dos variables, o sea, la medida en la cual van juntas x y y , de tal modo que un aumento de x tienda a ir asociado con un aumento de y (correlación positiva) o con una disminución de y (correlación negativa). Hay varias medidas de asociación, o intensidad de relación; una de las más corrientes es el coeficiente de correlación. *La *covariancia*, o *relevancia recíproca*, de dos variables al azar, x e y , se define: $\text{Cov}(x, y) =_{\text{df}} (\overline{x - \bar{x}}) \cdot (\overline{y - \bar{y}}) = \overline{(x \cdot y)} - \bar{x} \cdot \bar{y}$. Para una sola variable, o sea, para el caso $x = y$, esa fórmula se reduce al cuadrado de la desviación estándar. Generalmente el *coeficiente de correlación* se toma como medida de la amplitud de la relación recíproca, y se define $r(x, y) =_{\text{df}} \text{Cov}(x, y) / \sigma_x \cdot \sigma_y$ “siendo $\sigma_x =_{\text{df}} (\overline{x - \bar{x}})^2$, y análogamente para σ_y .”*

El coeficiente de correlación $r(x, y)$ entre dos variables x e y es un número del intervalo $[-1, +1]$. Si $r = -1$, todos los puntos (x, y) se encuentran en una línea recta descendente; si $r = +1$, todos los puntos se encuentran en una línea recta ascendente; si $r = 0$, las dos variables carecen de toda asociación, y el conjunto de puntos carece de estructura (no hay ley); en casos intermedios los puntos se agrupan más o menos definidamente en elipses (cf. fig. 6.3 de la sec. 6.2). En algunos casos la distribución de los puntos puede sugerir una relación funcional entre x e y , pero eso sólo ocurrirá si las variables no oscilan desordenadamente, lo cual requiere un control preciso de las mismas.

Las contrastaciones de significación y el análisis de la correlación no deben ser el final de una serie de experimentos, porque no pueden dar de sí más que *hipótesis groseras* de la forma “ x es relevante para y ”, o “ x está intensamente (escasamente) y positivamente (negativamente) correlatada con y ”. Conclusiones así deben considerarse como indicaciones y estímulos para investigación ulterior. Desgraciadamente, en las ciencias de la vida y de la cultura hay demasiados experimentos que se detienen en ese punto, esto es, precisamente cuando se puede empezar a plantear los problemas más interesantes. Uno de éstos es el que pregunta si la correlación obtenida es real o fortuita. Una correlación, aunque sea intensa, puede ser accidental: o sea, dos variables pueden mostrar una intensa asociación durante cierto periodo, pero puede tratarse de una conjunción por azar. Si no son posibles más experimentos, la teoría puede servir para indicar si es posible que se haya dado con una asociación sistemática. Por ejemplo, si se ha observado que dos minerales se presentan juntos en un determinado depósito, la geoquímica podrá decirnos si esas rocas “pueden ir juntas” o “se complementan”, y, por tanto, puede esperarse la misma asociación en todas las rocas de esa clase. Pero si es posible experimentar ulteriormente, podemos eliminar una de las dos variables —o mantenerla constante— y observar si desaparece o deja de cambiar su anterior correlatada.

Pero incluso cuando la correlación entre las dos variables es real y duradera, puede ser *directa* o *indirecta*, o sea, puede reflejar una asociación directa o deberse a una tercera variable, una variable subyacente. Así, por ejemplo, la correlación estatus social-rendimiento escolar, que es alta y positiva, es efecto de las mayores oportunidades de que disponen las personas bien situadas, y no un ejemplo de la supuesta correlación directa “Cuanto más alta socialmente está una persona, tanto más inteligente es.” En estos casos se llama *espúrea* a la correlación, sin duda por alguna espúrea razón. Sólo una investigación ulterior podrá aclarar si tal es el caso o no. En resumen, pues, tenemos las siguientes clases de correlación:

$$\text{Correlación} \begin{cases} \text{Fortuita} \\ \text{Real} \begin{cases} \text{Directa} \\ \text{Indirecta (espúrea)} \end{cases} \end{cases}$$

Una vez hallada una correlación, hay que someterla a prueba con más experimentos y/o teoría. Pero tampoco una correlación comprobada debe tomarse como objetivo final de la investigación: es más bien la base de un problema ulterior, a saber: ¿Cuál es el mecanismo subyacente a la correlación? O sea: ¿Qué la produce, y de acuerdo con qué le-

yes? Por ejemplo: ¿Cómo actúa sobre el metabolismo de las plantas el fertilizante eficaz para aumentar su tamaño? ¿Cómo obra el ruido sobre el sistema nervioso, inhibiendo el proceso de aprendizaje del sujeto? Las correlaciones —dicho brevemente— no son más que escalones: la meta o desideratum es un conjunto de relaciones funcionales que representen estructuras. Esas estructuras pueden tal vez no existir sino a un nivel más profundo que el de las variables correlatadas, o bien puede ocurrir que estas últimas sean variables compuestas, o sea, agregados que sólo un análisis teórico pueda desintrincar (como ha ocurrido con los conceptos de “conductividad” e “inteligencia”, entre otros). En resolución: el experimento científico es una antorcha que ilumina en la búsqueda de estructuras. Pero no es la única antorcha, ni es tampoco infalible. Ya antes hemos argüido largamente que el experimento no se concibe ni interpreta en un vacío conceptual, sino en un cuerpo de ideas científicas y filosóficas; tomemos ahora el problema de la falibilidad de las contrastaciones experimentales.

Problemas

14.4.1. Los primeros partidarios de la hipótesis de que la inteligencia es heredada presentaban como evidencia en favor de ella unos cuantos árboles genealógicos familiares muy distinguidos, como el de los Bernoulli, el de los Bach, el de los Darwin. Los partidarios de la hipótesis del medio ambiente sostenían que un ambiente familiar favorable y casi constante puede explicar esas inclinaciones y éxitos intelectuales. En resolución: un mismo cuerpo de evidencia (los árboles genealógicos) sostenía dos hipótesis recíprocamente contradictorias. El procedimiento seguido para decidir entre ambas consistió en abandonar aquellos ambiguos árboles familiares y practicar estudio cuidadoso de hermanos gemelos. La correlación entre los rendimientos de gemelos univitelinos (con la misma dotación genética exactamente) resultó de 0,95, mientras que los demás gemelos no daban como correlación más que 0,65. Analizar este llamado método de los gemelos: indicar las variables tenidas en cuenta y determinar si es propiamente un experimento. Informar, por último, acerca del actual estado de la cuestión.

14.4.2. Imaginar cómo podría decidirse entre las siguientes hipótesis, recíprocamente incompatibles. (i) “Si la religión disuade del crimen, entonces la religiosidad tiene que estar negativamente correlatada con el crimen”. (ii) “Si los criminales necesitan y buscan la ayuda de la religión más que las demás personas, entonces tiene que haber una correlación positiva entre la religiosidad y la criminalidad”. (iii) “Si algunas religiones hacen al individuo egoísta, permitiéndole expiar fácilmente sus culpas, entonces tiene que haber una correlación positiva entre la criminalidad y algunas clases de religiosidad”. Se encontrarán algunos estudios estadísticos de este problema en M. J. Maroney, *Facts from Figures*, Londres, Penguin, 1956, pp. 303ss.

14.4.3. El gerente de una industria, con el deseo de mejorar el rendimiento del trabajo, aumenta la iluminación, pinta los talleres con colores brillantes, mejora las condiciones sanitarias y ofrece incentivos económicos. Como resultado de todo ello aumenta realmente el producto. ¿Está justificada la conclusión directa de que el aumento del producto ha sido efecto de los cambios que introdujo? Tener en cuenta que el mismo aumento habría podido darse en grupos de control, como efectivamente ocurrió en los primeros experimentos sobre productividad practicados en la década de los veinte.

14.4.4. En la estadística matemática se demuestra el teorema siguiente: “Si dos variables casuales son independientes, entonces su coeficiente de correlación es cero.” Supongamos que un

experimento nos “dice” que un determinado coeficiente de correlación es cero: ¿podemos inferir de eso que las variables correspondientes sean recíprocamente irrelevantes?

14.4.5. Repasar las varias contrastaciones de significación y examinar sus limitaciones.

14.4.6. Repasar las varias mediciones de asociación de variables y precisar sus respectivas ventajas.

14.4.7. ¿Qué es lo que determina la elección entre contrastaciones de significación y coeficientes de asociación? ¿O es la elección arbitraria?

14.4.8. Estudiar las inferencias ambiguas de relación sistemática a partir de correlaciones.

14.4.9. Entre las concepciones erróneas de la aplicabilidad de la metodología estadística se encuentra la creencia en que no puede aplicarse más que cuando el objeto se comporta casualmente. Discutir esa idea y mostrar que ya es condición suficiente para la aplicación de la estadística el que *nuestra información* sea una muestra al azar de una gran población de datos posibles. Por último, examinar si esa condición queda de hecho satisfecha en el experimento científico, y recordar la Regla 1 de la sec. 10.4.

14.4.10. Discutir el sentido de los coeficientes de correlación y de las desviaciones estándar en la mecánica cuántica: Cf. M. Bunge, “A survey of the interpretations of quantum mechanics”, *American Journal of Physics*, 24: 272-86, 1956. *Problema en lugar de ése*: Suele describirse la tarea del metodólogo como la descripción de los procedimientos científicos corrientes. ¿Puede también criticarlos y proponer otros? En caso afirmativo, ¿con qué condiciones?

14.5. PRUEBA DE LA CONTRASTACIÓN

Cuando nos cuesta trabajo cortar la carne con el cuchillo no declaramos sin más que el bistec es duro, sin comprobar antes que el cuchillo corta aplicándolo a algo de dureza conocida, como una corteza de pan; también podemos usar una prueba de dureza que es independiente del cuchillo: por ejemplo, morder el bistec. En cualquier caso, *sometemos a prueba nuestro procedimiento de contrastación mediante una técnica independiente*, en vez de creer ciegamente sus resultados. Esta precaución que frecuentemente tomamos en la vida ordinaria se puede pasar por alto en otras cuestiones: las pruebas medievales para establecer la brujería no se sometieron nunca a su vez a prueba de un modo independiente, y del mismo modo acrítico se aplica el *test* de las manchas de tinta para el estudio de los rasgos de la personalidad. En la ciencia, por el contrario, se examinan cuidadosamente los procedimientos empíricos, tanto los de observación como los experimentales.

Los procedimientos de contrastación, o técnicas experimentales, deben contrastarse o convalidarse *teórica y experimentalmente*: experimentalmente, porque pueden no funcionar, y teóricamente porque, aunque funcionen, el funcionamiento puede deberse a alguna causa distinta de la presumida en la presentación del procedimiento. La contrastación teórica de una técnica experimental consiste en explicar, a base de teorías independientemente corroboradas, cómo funciona el procedimiento. Incluso una técnica que tenga éxito debe considerarse sospechosa mientras sus éxitos —y sus limitaciones— no se expliquen a base de leyes científicas. En la ciencia pura, por lo menos, cuando se propone una nueva técnica experimental, se la analiza para determinar, sobre la base del conocimiento disponible, si puede dar resultado; por esta razón es raro que los científicos pierdan el tiempo contrastando técnicas charlatanesas.

Así, por ejemplo, cuando se propuso por vez primera la técnica del carbono radiactivo para fechar restos, la idea estaba bien fundada en el conocimiento disponible: se sabía que los organismos absorben carbono ordinario, C^{12} , y carbono radiactivo, C^{14} , en una razón constante; se conocía además la ley de la duración (periodo) de C^{14} . Este conocimiento explicaba los éxitos de la técnica y su limitación a hechos que no se remontan a mucho más de 5 000 años, que es la mitad del periodo del carbono radiactivo. Pese a ese fundamento teórico, la técnica del carbono radiactivo se puso a prueba comparando sus resultados con los de otras técnicas. Por ejemplo: se estimó la edad de los megalitos de Stonehenge analizando una muestra de carbón vegetal hallado en un pozo ritual de la estación y se vio que el resultado (1800 a.C.) era compatible con el resultado hallado independientemente gracias a determinada evidencia astronómica. También se practicó otra contrastación posible gracias a los objetos procedentes de antiguas tumbas egipcias cuya edad se conocía con precisión por documentos históricos. En el caso de árboles se pudo comparar el resultado de la técnica del carbono radiactivo con la cronología establecida mediante los anillos de los troncos. De este modo fue posible averiguar que el margen de error de la técnica del carbono radiactivo es del 5% aproximadamente; ese margen se ha reducido luego.

Hay un caso más reciente de *contrastación cruzada*: el análisis del tetrafluoruro de xenón, o, en general, de cualquier compuesto nuevo interesante. La fórmula de la composición química " XeF_4 " se infirió primero (1962) de la razón entre el flúor y el xenón consumidos en la reacción. La hipótesis se contrastó luego recuperando el xenón, o, más precisamente, analizando los productos de la reacción " $XeF_4 + H_2 \rightarrow Xe + 4HF$ ". La hipótesis se siguió contrastando independientemente con otros métodos no-químicos, como la determinación del peso molecular de XeF_4 con un espectrómetro de masa y el análisis por rayos X. Las varias contrastaciones se suministraban recíprocamente un control y, además, evidencias de nuevas clases: o sea, descubrían nuevas propiedades del compuesto. En general, los más valiosos conjuntos de técnicas experimentales son los de las más independientes, porque pueden controlarse unas a otras sin circularidad y porque arrojan la mayor cantidad de datos.

Bastantes procedimientos empíricos utilizados en medicina y en psicología clínica están por el momento sin fundamento teórico y no se han contrastado mediante otras técnicas independientes; aún más grave es que algunos de ellos han resultado incompatibles con la teoría y con otras técnicas en concurrencia con ellos. Éste es el caso, en particular, de los procedimientos intuitivos para el estudio de la personalidad —como la entrevista, el interrogatorio psicoanalítico y los *tests* proyectivos. Sus sostenedores no han sometido nunca a contrastación esos supuestos *tests*, ni teórica ni empíricamente: los han propuesto pitonísticamente sin preocuparse por hacer estudios continuos de los sujetos, único procedimiento que podría decirnos si los sujetos se comportaron realmente como se les profetizó con base en los supuestos *tests*. Cuando realmente se han contrastado esos procedimientos intuitivos, han presentado o bien una correlación bajísima —por debajo de 0,50— o bien una correlación sistemáticamente negativa entre la predicción clínica y el rendimiento real. Dicho de otro modo: las conjeturas clínicas hechas con procedimientos intuitivos —sin fundamento— no suelen ser mejores que las que cada uno de nosotros puede hacer echando una moneda a cara y cruz; muchas veces tienen incluso menos posibi-

lidades de acertar que con este procedimiento, lo cual indica que, en el mejor de los casos, se basan en hipótesis falsas.

Un buen procedimiento de contrastación debe cumplir satisfactoriamente las siguientes condiciones:

1. *Validez* o adecuación: tiene que medir o poner a prueba lo que se supone mide o pone a prueba. P. ej., una prueba de acuidad auditiva no debiera de confundirse con una prueba de comprensión, y una prueba de habilidad computacional no debiera de tomarse por prueba de capacidad matemática.

2. *Fundamentación*: tiene que ser consistente con lo que ya se conoce y, si es posible, la teoría científica corriente tiene que explicar sus éxitos y sus limitaciones. Sólo esto asegura la llamada *validez* del test.

3. *Objetividad*: el rendimiento, el registro y la interpretación del procedimiento deben ser esencialmente independientes del operador. Prueba de esta condición: que los resultados del procedimiento no varíen significativamente de operador a operador.

4. *Estabilidad*: el procedimiento debe contrastar siempre la misma cosa. Prueba de esta condición: que los resultados obtenidos al cabo de un breve intervalo muestren un alto grado de concordancia (auto-correlación) con los anteriores.

5. *Concordancia con otros procedimientos*: los procedimientos de contrastación, igual que las leyes y las normas científicas, tienen que apoyarse en, o ser refutados por, otros miembros del cuerpo del conocimiento científico, y no presentarse aislados. Cuando se propone un nuevo procedimiento de contrastación, los procedimientos ya viejos y establecidos deben, por así decirlo, vigilar y estimar su rendimiento. Prueba de esta condición: que sea alta la correlación entre los resultados del nuevo procedimiento y los de procedimientos concurrentes ya aceptados.

En resolución, los procedimientos empíricos tienen que ser *escrutables*: analizables, comparables, criticables y, en principio, perfeccionables. Lo mismo vale, desde luego, para todos los resultados de contrastaciones empíricas: aunque la técnica misma sea válida, puede practicarse o interpretarse mal. Sólo los filósofos ingenuos tienen una fe ciega en los resultados experimentales: el buen experimentador desconfía del proyecto, del aparato, del rendimiento, de las hipótesis supuestas, de la interpretación de los resultados, razón por la cual lo mantiene todo controlado y lo somete a prueba una y otra vez.

Las informaciones de experiencia científica –de observación, medición o experimento– son pues tan falibles como las técnicas y las hipótesis. Pero su falibilidad no es como para contentar al escéptico radical, porque pueden mejorarse. A veces los mismos fracasos indican el camino de una corrección eficaz, siempre que los fracasos sean explicados por la teoría. También aquí, pues, llegamos a la conclusión de que los procedimientos empíricos carecen de valor si no van acompañados por teoría científica.

Problemas

14.5.1. Enumerar las clases de errores que pueden hacerse al experimentar. Cf. W. B. Cannon, *The Way of an Investigator*, Nueva York, W. W. Norton, 1945, cap. xi; y E. B. Wilson, *An Introduction to Scientific Research*. Nueva York, McGraw-Hill, 1952, pp. 119ss. ¿Qué ha sido de la popular idea según la cual los experimentos no pueden fallar?

14.5.2. Dado que una contrastación fiable debe ser objetiva, ¿mejoraría la fiabilidad el construir máquinas para hacer e interpretar contrastaciones?

14.5.3. ¿Qué haríamos si se nos presentara un conjunto de filamentos gaseosos que se movieran en el espacio emitiendo una voz terrorífica? ¿Creeríamos que es una aparición del trasmundo o rechazaríamos esta interpretación basándonos en que no encaja en nuestro conocimiento científico? Dicho de otro modo: ¿aceptaríamos la fantasía sobre ectoplasmas como una técnica fiable para estudiar los fantasmas?

14.5.4. Discutir la tesis de que algunas experiencias –místicas, metafísicas o científicas– son definitivas y terminales.

14.5.5. ¿Debemos creer ciegamente en las técnicas experimentales utilizadas por los científicos más destacados de nuestra época?

14.5.6. ¿Qué es más valioso, la proyección inteligente del experimento o la habilidad en su puesta en práctica? ¿Y en qué relación están ambas cosas?

14.5.7. ¿Cómo se convalidan los ensayos químicos (por ejemplo: sobre qué base se adopta el papel de tornasol para la identificación de la acidez)?

14.5.8. Discutir la observación de R. A. Fisher según la cual la planeación y la interpretación de los experimentos son actividades interdependientes, porque un experimento mal proyectado es susceptible de varias interpretaciones o da resultados que son en algún respecto inconcluyentes.

14.5.9. Los parapsicólogos sostienen que sus “experimentos” tienen que desarrollarse en el seno de una atmósfera amistosa, y no en presencia de críticos hostiles o escépticos, porque las personas “sensibles” pueden perder sus capacidades extraordinarias. Examinar esa pretensión. Decidir, en particular acerca de si esa condición no hace sin más a la parapsicología empíricamente irrefutable, lo que quiere decir no-científica.

14.5.10. El experimento siguiente se ha llevado a cabo para contrastar la hipótesis de que los animales superiores –por ejemplo, ratones– eligen su alimento no sólo en razón de su valor para el metabolismo (conjunto de variables fisiológicas), sino también a base de su gusto (variables psicológicas). Se ofrece agua azucarada de diferentes concentraciones –por tanto, más o menos dulce– a ratones normales y a otros ratones cuyo sentido del gusto se ha destruido mediante extirpación de las correspondientes áreas del cerebro. Resultado: mientras que los ratones normales muestran una acusada preferencia por la concentración media, los ratones operados no manifiestan preferencia alguna. Problema: ¿Cómo podemos averiguar independientemente que lo extirpado a los ratones operados ha sido precisamente las zonas del *gusto* de su cerebro?

14.6. FUNCIONES

¿Por qué se hacen experimentos? ¿Qué se gana con experimentar? En primer lugar, y hablando metafóricamente, todo experimento es una pregunta directa y precisa a la realidad, en la medida en que todo conjunto de factores o *inputs* (“preguntas”) produce un conjunto de productos u *outputs* (“respuestas”) y plantea así al teórico el problema de dar razón de (o explicar) un conjunto de pares “pregunta”-“respuesta”. En segundo lugar, muchas de esas “preguntas” no se plantean espontáneamente en un ambiente natural: la radioactividad inducida, la mutación genética inducida o el aprendizaje de animales con los dispositivos laberínticos no suelen realmente ocurrir en estado de naturaleza. El experimento, al enriquecer el conjunto de los hechos que ocurren naturalmente, es capaz de revelar profundos e insospechados aspectos de las cosas. (Eso ocurre a veces, por ejem-

plo, cuando se pide a un amigo que asuma cierto riesgo.) En tercer lugar, mientras que los hechos espontáneos son por lo común extremadamente complejos, los hechos experimentales son más simples, y, por lo tanto, más tratables. El control de las variables, que es peculiar al experimento, pone al objeto más cerca de su modelo teórico ya por el hecho de concentrarse en torno a pocas variables, reducir sus campos de variabilidad y minimizar las perturbaciones y las irrelevancias presentes en todo sistema natural, especialmente el “ruido” característico de los datos puramente observacionales.

Así pues, por unas cuantas buenas razones el experimento se ha hecho esencial a la moderna ciencia factual. Pero eso no significa que el experimento pueda *suplir*, como igual, la teoría, ni que sea la *base* de ésta, ni que sea la *instancia rectora* de la ciencia factual. Todo experimento es búsqueda de respuesta a una pregunta originada en un cuerpo de ideas; tiene que proyectarse e interpretarse, a diferencia de lo que ocurre con el ciego azar del ensayo-y-error, y tanto la proyección cuanto la interpretación de los experimentos requieren sistemas de hipótesis más o menos elaborados. La ejecución de un experimento es la realización de un plan concebido gracias a ciertos supuestos, y lo que da como resultado es un mensaje cifrado que no puede descifrarse fuera de un cuerpo de conocimiento. El experimento es un *medio*, no un fin, y ello tanto por lo que hace a la producción de nuevas ideas cuanto por lo que se refiere a la contrastación de ideas en general; el experimento puede ser un objetivo, un fin en sí mismo, para tal o cual científico en un determinado momento de su trabajo, pero no puede serlo para la ciencia como empresa colectiva de la humanidad. En resolución, no es posible ningún experimento si no hay ideas; el experimento es una materialización de ideas, pero no para fijarlas dogmáticamente, sino para contrastarlas y enriquecerlas.

Los psicoanalistas han recogido cierto número de observaciones –pero no han conseguido un sólo experimento–, y han suscitado también cierto número de problemas interesantes –pero mal concebidos. Su material empírico resulta inútil porque no han utilizado técnicas de control y porque carecen de una teoría consistente, plenamente contrastable y rectificable, por medio de la cual pudieran interpretarse (explicarse) sus observaciones. Los antiguos astrólogos también prestaron un enorme servicio a la ciencia con sus numerosas observaciones correctas y su invención de dispositivos para la observación y el cálculo astronómicos. Pero su teoría era falsa en la medida en que era contrastable, y era predominantemente irrectificable (dogmática). Y los alquimistas superaron a los psicoanalistas y a los astrólogos en sus correctas descripciones de sustancias y procesos, así como en su proyecto y construcción de útiles, técnicas y aparatos hoy en uso. Pero su teoría era demasiado simple para ser verdadera, sus operaciones fueron demasiado ciegas para ser útiles, y ellos mismos nunca se preocuparon de contrastar o corregir sus ideas: igual que los psicoanalistas y los astrólogos, su principal tarea era ilustrar sus dogmáticas, fijadas opiniones y aplicarlas a fines prácticos. Las tres fueron disciplinas *empíricas* en el sentido de que utilizaban la experiencia; pero ninguna de ellas fue *experimental* en el moderno sentido de la palabra, porque no tenían teoría consistente, contrastable, rectificable y razonable (o sea, externamente consistente) para proyectar e interpretar sus operaciones.

La moraleja de la historia de la pseudociencia está clara: no hay masa de observaciones, ni siquiera de experimentos, que tenga valor si no se han realizado e interpretado a la luz de una teoría compatible con el cuerpo del conocimiento científico y metacientífico

y capaz de aprender de la experiencia. Por eso la experiencia, y, en particular, el experimento, es *insuficiente*: es un medio para plantear problemas y contrastar las soluciones propuestas a los mismos. Una operación empírica, tanto si es una observación suelta como si es un experimento controlado, puede dar origen a un problema interesante o incluso a una conjetura de interés, siempre que tenga lugar en un cuerpo de conocimiento. Y la experiencia científica no tiene valor de contrastación más que si es relevante para alguna hipótesis precisamente formulada y que no pueda compadecerse con cualquier resultado. En resolución, la experiencia científica es estimable en la medida en que está empapada de ideas, ideas que la experiencia es entonces capaz de controlar y enriquecer.

La ausencia de interacción entre la teoría y el experimento explica el fracaso de los griegos en el intento de ir más allá de Arquímedes, así como la esterilidad de las pocas observaciones y el manido de experimentos realizados en la Edad Media: esas operaciones estaban mal guiadas por teorías falsas o bien eran autocontenidas, en el sentido de que no aspiraban más que a averiguar cómo son ciertas cosas y, en el mejor de los casos, qué ocurriría si se provocaran ciertos cambios. Dicho sea de paso, este primitivismo es el tipo de experimento recomendado por el conductismo clásico. La verdad es que lo mejor que podían dar de sí los escolásticos era la mera observación y la experimentación casual orientadas a conseguir datos, no experiencia relevante para alguna opinión preestablecida dogmáticamente: y eso es lo que hicieron Alberto Magno, Petrus Peregrinus y Rogerio Bacon. Desgraciadamente, esa situación tiene su paralelo en gran parte de la contemporánea investigación psicológica y social, en la cual las teorías son especulativas y las operaciones empíricas no están sistemáticamente orientadas por teorías, sino por el mero deseo de ver qué pasa.

En cuanto a los experimentos realizados entre los siglos xv y xvii por artesanos, entendidos en artillería y balística, cirujanos, alquimistas y fabricantes de instrumentos, puede decirse que no tuvieron una aspiración principalmente cognoscitiva, sino práctica: aquellos hombres querían saber cómo trabajaban ciertas cosas y ciertos procedimientos fabricados por el hombre, no si determinadas teorías eran o no verdaderas. Ni las observaciones sueltas de los escolásticos ni la corriente experimentación técnica de los mejores artesanos son el origen de la moderna ciencia experimental: ni unos ni otros utilizaron el *método experimental*. Éste no es un procedimiento que sirva simplemente para ver qué pasa si uno cambia empíricamente los valores de ciertas variables —por ejemplo, si se reduce el número de alas de una mosca. El método experimental es el modo como las hipótesis factuales se *contrastan* empíricamente, a saber, mediante el *control* riguroso de las variables relevantes y de las inferencias “obtenidas de” (sugeridas por) los resultados de la operación. El que aplica el método experimental tiene alguna idea que contrastar y algunas otras para proyectar la contrastación.

Por tanto, el aficionado a la radio que juega con circuitos intentando intuitivamente mejorar el rendimiento, sin utilizar ni contrastar explícitamente toda teoría física relevante, no es un experimentalista; al igual que Leonardo da Vinci, al igual que los artilleros con los que colaboró Galileo en el arsenal de Venecia, al igual que el cirujano militar Vesalio, que trazaba dibujos anatómicos en el campo de batalla, el aficionado a la radio es un artesano calificado. El hacer cosas no tiene valor cognoscitivo en sí: la producción es inútil para el progreso del conocimiento a menos que se trate de una idea susceptible de

contrastación por la producción –por ejemplo, alguna hipótesis de investigación operativa. La mera producción, con ignorancia del mecanismo o sin suscitar nuevos problemas de conocimiento, es cognoscitivamente inútil, por más valor práctico que tenga. En resolución: la producción, pura o aplicada, no es útil para la ciencia más que cuando es una contrastación de ideas, no una sustitución de éstas. Un experimentalista genuino no es, pues, como el artesano o el mecánico, sino un estudioso capaz de concebir (proyectar) experimentos y técnicas experimentales para contrastar hipótesis.

Esas diferencias entre el experimento y el método experimental, entre el artesano calificado y el experimentador, entre la producción y la investigación, etc., son el objeto propio de la discusión cuando se habla de los orígenes de la ciencia moderna y se estiman los papeles de los técnicos y tecnólogos en los laboratorios modernos. Por eso tales cuestiones tienen interés para el historiador de las ideas y para el administrador de la investigación científica, igual que para el científico puro.

El científico puro tiene objetivamente interés, y debe, por tanto, interesarse por averiguar qué es lo que hace valioso un experimento: en qué condiciones un experimento puede resolver o plantear un problema importante de la investigación. En particular, el científico puro tiene que averiguar si un determinado experimento es más o menos concluyente, porque, si no lo es, tendrá que repetirlo o volver a proyectarlo de otro modo que garantice su relevancia. Puede decirse que un experimento es *inconcluyente* respecto de un determinado conjunto de hipótesis si es irrelevante para éstas o si su resultado es coherente con el conjunto dado y con otro conjunto rival del primero. El caso en el cual es el error experimental el que oculta el efecto esperado cae dentro de la segunda categoría. Se entiende fácilmente que tiene que haber experimentos inconcluyentes, porque (i) es grande el número de fuentes de error, (ii) mucho depende de la interpretación de los resultados, y (iii) cualquier conjunto de resultados experimentales puede en principio derivarse de varias teorías diversas.

Pero, ¿hay experimentos *concluyentes*, experimentos que decidan, inequívoca y concluyentemente en favor o en contra de alguna hipótesis? En particular: ¿hay experimentos *cruciales*, experimentos que nos permitan decidir inequívoca y definitivamente entre dos hipótesis rivales, como, por ejemplo, la hipótesis del cero (o del azar) y su negación? La respuesta que se dé a esta pregunta no dependerá sólo del proyecto experimental y del resultado del experimento, sino también de la naturaleza de la hipótesis o teoría puesta en contrastación por el experimento. Una cosa es contrastar una hipótesis de existencia y otra, muy diferente, contrastar una hipótesis universal. Y también son cosas distintas, por un lado, el someter a prueba una hipótesis cualitativa y, por otro, el contrastar una hipótesis cuantitativa. Análogamente, no es lo mismo someter a contrastación una hipótesis suelta que contrastar una teoría que disponga de un número ilimitado de consecuencias contrastables. En resumen: la respuesta a la pregunta que inquiere el valor de un experimento tiene que buscarse en el curso de un análisis de (i) el proyecto experimental, (ii) los resultados experimentales o datos, y (iii) la relación lógica entre los datos y las construcciones (hipótesis y teorías) para las cuales se supone que son relevantes los datos. Como ya hemos estudiado (i) y (ii), atenderemos ahora a (iii), o sea, al problema de la lógica de la contrastación empírica o, como también se dice, la cuestión de la inferencia científica. Éste será el tema del próximo capítulo.

Problemas

14.6.1. Comentar las *Reglas y consejos sobre investigación científica*, de S. Ramón y Cajal, fundador de la neurociencia moderna.

14.6.2. Desenterrar los supuestos ontológicos y gnoseológicos del método experimental. Averiguar, en particular, si supone la existencia objetiva de los objetos sobre los cuales se experimenta, y la imposibilidad de influir sobre los instrumentos de medición por telequinesis.

14.6.3. En los campos de concentración nazis se realizaron decenas de miles de experimentos sobre prisioneros: sometimiento a condiciones extremas de hambre, frío y cansancio, y hasta vivisección. La finalidad perseguida o pretextada era “ver qué ocurría”, no contrastar hipótesis precisas. ¿Se trató realmente de experimentos científicos? *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema ético de la experimentación médica sobre seres humanos: ¿está justificada? Si lo está, ¿en qué condiciones? Cf. el Código de Nuremberg, *Science*, 143, 553, 1964.

14.6.4. Pocas veces se han sometido las técnicas psiquiátricas a una prueba de observación, por no hablar ya de experimentos. ¿Por qué se usan si, en cambio, los fertilizantes y los germicidas no se ponen en el mercado sin probarlos antes? *Problema en lugar de ése*: ¿Es suficiente la experiencia para confirmar (refutar) ideas, o bien requiere la confirmación (refutación) alguna elaboración teórica?

14.6.5. Discutir la tesis empirista radical según la cual el experimento suministra respuestas directas a las preguntas o cuestiones, sin necesidad de hipótesis ni de teorías, por lo cual una ciencia lo suficientemente adelantada es una ciencia puramente experimental. *Problema en lugar de ése*: ¿Por qué tantos científicos del comportamiento identifican la investigación con la observación y la experimentación supuestamente sin ideas teóricas?

14.6.6. Discutir la tesis deductivista según la cual el único papel del experimento en la ciencia consiste en producir la refutación de hipótesis, esto es, en talar parcialmente o eliminar completamente ideas o cuerpos de ideas.

14.6.7. La teoría de la evolución no acabó de aceptarse plenamente, tras superar toda resistencia tradicional, sino en la década de 1940, una vez producidos dos cambios revolucionarios en ese terreno teórico; (i) la síntesis de la teoría de Darwin con la genética, y (ii) la producción y observación deliberadas de cambios por adaptación en bacterias y en la mosca de la fruta; estos hechos situaron definitivamente la teoría de la evolución en el radio del método experimental. Comentar este proceso de historia de la ciencia.

14.6.8. Elaborar ulteriormente la siguiente dicotomía:

$$\text{Ciencias factuales} \left\{ \begin{array}{l} \text{No experimentales, o no de laboratorio} \\ \text{Experimentales, o de laboratorio} \end{array} \right.$$

Tener en cuenta que, hasta hace poco, los geólogos no realizaban experimentos sobre modelos a escala reducida —por ejemplo, para simular fenómenos de plegamiento o de erosión—, que el estudio de la evolución era una disciplina empírica, pero no experimental, y que la sociología y la economía no habían empezado la aplicación de modernas técnicas experimentales a pequeños grupos.

14.6.9. Estudiar la función de la experiencia ordinaria (de la vida cotidiana) y del experimento propiamente dicho en las ciencias matemáticas, en las cuales aquéllos pueden presentarse no sólo con una función sugeridora de ideas e hipótesis, o incluso de problemas, sino también como elementos que ayudan a hallar soluciones aproximadas a problemas que permitan el tratamiento mediante la construcción de modelos físicos. En particular, examinar (i) el papel que puede haber desempeñado la experiencia en la obra matemática de Arquímedes, (ii) el uso de las técnicas de

Monte Carlo o de muestreo al azar para fines de cómputo, y (iii) el uso de las calculadoras, a diversos niveles, en el trabajo propio de la matemática pura.

14.6.10. Algunos distinguidos historiadores de la ciencia, sobre todo P. Duhem, J. H. Randall, Jr., y A. C. Crombie, han sostenido que la ciencia moderna nació en la Edad Media. La evidencia documental que han presentado en favor de esa hipótesis puede clasificarse en tres grandes grupos: (i) los experimentos realizados en París durante los siglos XIII y XIV, así como en Padua en el siglo XVI; (ii) las hipótesis físicas ajenas a la tradición aristotélica propuestas intermitentemente a partir del siglo XIII, y (iii) la metodología elaborada por la escuela de Padua. Discutir esa tesis. *Problema en lugar de ése*: Varios historiadores de la ciencia, con A. Mieli entre ellos, han considerado a Leonardo da Vinci como científico por el hecho de que practicó experimentos y hasta por haber elogiado el experimento —igual que hizo Roger Bacon mucho antes que él— como fuente de conocimiento. Discutir esa opinión. Cf. C. Truesdell, *Essays in the History of Mechanics*, Nueva York, Springer, 1968.

BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson, R. C., *et al.*, *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*, 2a. ed., Reading MA: Addison-Wesley, 1988.
- Baird, D. C., *Experimentation: An Introduction to Measurement Theory and Experiment Design*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1962, caps. 4-6.
- Bernard, C., *Introducción al estudio de la medicina experimental* (1865), diversas ediciones castellanas.
- Blalock, H. M., y A. B. Blalock (eds.), *Methodology in Social Research*, Nueva York, McGraw-Hill, 1968.
- Bunge, M., *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.
- Cochran, W. F., y C. M. Cox, *Experimental Designs*, 2a. ed., Nueva York y Londres, John Wiley, 1957.
- Conant, J. B., *On Understanding Science*, New Haven, Yale University Press, 1947.
- (comp.), *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1957, 2 vols.
- Cox, D. R., *Planning of Experiments*, Nueva York y Londres, John Wiley and Sons, 1958.
- Eysenk, H. J. (ed.), *Experiments in Behaviour Therapy*, Oxford, Pergamon, 1964.
- Fisher, R. A., *The Design of Experiments*, 6a. ed., Edinburgo y Londres, Oliver and Boyd, 1951.
- , *Statistical Methods and Scientific Inference*, Edinburgo y Londres, Oliver and Boyd, 1951.
- Gabriel, M. L., y S. Fogel (eds.), *Great Experiments in Biology*, Englewood Cliffs N. J., Prentice Hall, 1955.
- Galison, P., *How Experiments End*, Chicago, University of Chicago Press, 1987.
- Greenwood, E., *Experimental Sociology: A Study in Method*, Nueva York, King's Crown Press, 1945.
- Guetzkow, H. (ed.), *Simulation in Social Sciences: Readings*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1962.
- Hacking, I., *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.
- Moroney, M. J., *Facts from Figures*, Londres, Penguin, 1956.
- Ramón y Cajal, S., *Reglas y consejos sobre investigación científica*, en *Obras literarias completas*, Madrid, Aguilar, 1961.
- Yule, Y., y G. Kendall, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 14a. ed., Londres, Griffin, Nueva York, Hafner, 1950.

15. LA INFERENCIA CIENTÍFICA

El hombre civilizado es un animal que hace conjeturas: está constantemente inventando hipótesis y poniéndolas a prueba, y saltando a audaces “conclusiones” sobre su valor. La actitud científica no consiste en prohibir esos saltos inferenciales, sino en controlarlos. En este último capítulo vamos a examinar cómo se ejerce ese control, y veremos que está gravemente limitado: no hay en efecto ningún criterio a prueba de cualquier riesgo que pueda aplicarse a esos saltos inferenciales hasta las “conclusiones” correctas, a menos que se trate de conclusiones propiamente dichas, o sea, de consecuencias deductivas de algún conjunto de premisas. El problema de la inferencia científica no deductiva es muy serio y difícil, ya por el mero hecho de que entre las ideas y los hechos que se supone representan aquéllas existe un indudable hiato: ¿cómo juzgar, en efecto, si una idea “en-caja” con su referente? Y si la idea es propiamente una hipótesis, ¿cómo podemos compararla con evidencia empírica, si una y otra no tienen los mismos conceptos y están consiguientemente formuladas en lenguajes diferentes? Hasta los procedimientos más elementales por los cuales contrastamos nuestras ideas sobre los hechos suponen problemas filosóficos graves y escasamente resueltos, como el problema de la verdad y el de la inferencia científica, esto es, el problema de la adscripción de valores veritativos a las ideas científicas. La finalidad de este capítulo es examinar esos procedimientos y poner de manifiesto la filosofía subyacente a los mismos.

15.1. INFERENCIA

La inferencia es el paso de un conjunto de proposiciones a otro; el primer conjunto puede llamarse la clase de las premisas, y el segundo la clase de las conclusiones. Como otras actividades humanas, la inferencia puede tener éxito o no conseguirlo. Pero, a diferencia de otras actividades humanas, la inferencia puede ser válida y al mismo tiempo estéril —como en el caso de “ p , por tanto p ”—, o no-válida y al mismo tiempo fecunda —como en el caso de muchas generalizaciones precipitadas, pero verosímiles, o el de la analogía en la ciencia. Del mismo modo que el llegar a una clase de conclusiones verdaderas no es un criterio de validez, así también la validez o corrección formal no garantiza la fecundidad de una argumentación: la validez y la fecundidad son propiedades independientes una de otra. El ideal es, desde luego, el combinar la fecundidad con el rigor, pero esto debe ser más una aspiración que una exigencia puesta desde el comienzo, pues ninguna línea de pensamiento podría acaso arrancar si se le impusieran severos criterios de rigor. Tenemos que apegarnos con el hecho de que en todos los departamentos de la cultura se realizan y se necesitan a la vez inferencias válidas y no-válidas, el hecho de que la ciencia más austera puede engendrar hijos lógicamente ilegítimos que sería erróneo eliminar, pero

que tampoco es posible legitimar. Todo lo que podemos hacer es tener bajo control esos modos de inferencia, para la cual tenemos que estudiarlos en vez de despreciarlos. Primero engendrar, luego criar.

Del mismo modo que en la realidad encontramos dos clases de estructuras, a saber, leyes y tendencias, así también en la argumentación —ordinaria o científica— hallamos dos clases de estructuras: legal o válida (estructuras inferenciales deductivas) y cuasi-tendenciales o lógicamente no-válidas, pero a menudo fecundas, o sea, estructuras inferenciales no-deductivas, o inferencias incoadas. La inferencia válida, o sea, deductiva, es objeto de estudio por la lógica formal. Entre los tipos más corrientes de inferencia deductiva recordaremos la sustitución (el cambio de variables), la separación, o *modus ponens*, y la reyección, o *modus tollens*, la ejemplificación y la generalización —además de gran número de esquemas de inferencia específicos (no universales), como los que se usan en el cálculo aritmético. Cuando una inferencia válida parte de premisas que se consideran verdaderas o aceptadas por convención, la inferencia se llama una *demonstración*. Es claro que no hay demostraciones de fórmulas factuales, por la sencilla razón de que ningún supuesto inicial de la ciencia factual puede tomarse como seguro: mientras que en la matemática las premisas convalidan (o justifican, o fundamentan) las conclusiones, en la ciencia factual son más bien las conclusiones las que suministran una convalidación o justificación parcial de las premisas. La “conclusión” que va de la conclusión propiamente dicha a las premisas no es concluyente en sentido lógico. Pero esa inferencia se da, es de varias clases y se le da con cierta confusión el ambiguo nombre de *inducción*. Echemos un vistazo a algunos de los esquemas más frecuentes de inferencia incoada o plausible. He aquí:

1. *Analogía sustantiva*: semejanza de componentes.

Esquema:

a es $P_1, P_2, \dots, P_n$

b es $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$

Es factible que b sea P_n

Ejemplo: Entre los animales el cáncer se debe frecuentemente a virus. El hombre es ur. animal. Por lo tanto, es factible que los virus sean frecuentemente la causa del cáncer humano.

2. *Analogía estructural*: semejanza de forma.

Esquema

Sistemas de forma (estructura o ley) muy semejante tienen frecuentemente en común otras propiedades.

a y b tienen la misma estructura (u “obedecen” a leyes de la misma forma)

Es factible que a y b tengan en común otras propiedades.

Ejemplo: La ecuación de movimiento de un sistema cuántico es matemáticamente

análoga a una ecuación ondulatoria clásica. Por tanto, es factible que la ecuación cuántica refiera a un movimiento ondulatorio.

3. *Inducción de primer grado*: de ejemplos a una generalización de nivel bajo.

Esquema

Todos los A hasta el n -ésimo han resultado ser B .

Es factible que todos los A sean B .

Ejemplo: Todos los valores medidos de la carga del electrón son los mismos (dentro de los márgenes del error experimental). Por tanto, es factible que todos los electrones tengan la misma carga.

4. *Inducción de segundo grado*: de generalizaciones de nivel bajo a generalizaciones de nivel más alto.

Esquema:

La ley L vale para todo conjunto S_i hasta el n -ésimo.

Es factible que la ley L valga para todo conjunto S_i .

Ejemplo: Las leyes básicas del aprendizaje valen para todas las especies estudiadas, Por tanto, es factible que valgan para todas las especies existentes.

5. *Generalización estadística*: inferencia de la muestra a la población.

Esquema

S es una muestra al azar de la población U .

El porcentaje observado de los P en la muestra S de la población U es p .

El porcentaje esperado de P es en U es aproximadamente p .

Ejemplo: En una muestra al azar de estudiantes universitarios que equivalga a la centésima parte de los estudiantes se halló que el 10% dominaba su lengua materna. Por tanto, es factible que el correspondiente porcentaje en la población total de estudiantes sea aproximadamente del 10 por ciento.

6. *Especificación estadística*: inferencia de la población a la muestra.

Esquema

El porcentaje observado de P es en la población U es p .

S es una muestra al azar de U .

El porcentaje esperado de P es en S es aproximadamente p .

Ejemplo: En las últimas elecciones el 80% de la nación votó a los liberales; por tanto, es factible que el 80% aproximadamente de la población de Medioburgo, que es bastante representativa, votara a los liberales.

7. *Modus ponens débil*: separación débil del consecuente con base en una afirmación débil del condicional o del antecedente.

Esquema 7a
Si p , entonces q

" p " es verosímil

Esquema 7b
"Si p , entonces q " es
verosímil
 p

Esquema 7c
"Si p , entonces q " es
verosímil
" p " es verosímil

" q " es verosímil

" q " es verosímil

" q " es verosímil

Ejemplo: Es factible que un clima favorable haya favorecido el nacimiento de civilizaciones. España goza de un clima suave. Por tanto, es verosímil que en España naciera una civilización.

8. *Modus tollens débil*: recusación débil del antecedente con base en afirmación fuerte o débil del condicional y negación débil o fuerte del consecuente.

Esquema 8a
Si p , entonces q

" $\neg q$ " es verosímil

Esquema 8b
"Si p , entonces q " es
verosímil
 $\neg q$

Esquema 8c
"Si p , entonces q " es
verosímil
" $\neg q$ " es verosímil

" $\neg p$ " es verosímil

" $\neg p$ " es verosímil

" $\neg p$ " es verosímil

Ejemplo: Es factible que la ciencia sólo florezca en libertad. Ahora bien, en Dogmalandia no hay libertad. Ergo, es inverosímil que florezca la ciencia en Dogmalandia.

9. *Reducción fuerte*: afirmación débil del antecedente con base en afirmación del consecuente.

Esquema

Si p , entonces q
 q

Es posible que " p " sea verdadero.

Ejemplo: Si una corriente eléctrica pasa cerca de una aguja magnética, ésta se desvía. Una determinada aguja magnética ha experimentado una desviación. Por tanto, es posible que exista una corriente eléctrica cerca de esa aguja.

10. *Reducción débil*: afirmación débil de antecedente con base en afirmación del consecuente y afirmación fuerte o débil del condicional

Esquema 10a
Si p , entonces q

" q " es verosímil

Esquema 10b
"Si p , entonces q " es
verosímil
 q

Esquema 10c
"Si p , entonces q " es
verosímil
" q " es verosímil

Es posible que " p " sea
verdadero

Es posible que " p " sea
verdadero

Es posible que " p " sea
verdadero

Ejemplo: Es posible que al aproximarse un cambio del tiempo atmosférico los peces den grandes saltos por encima del espejo de las aguas. Acaban de dar esos saltos algunos peces. Por tanto, es posible que vaya a cambiar el tiempo.

Ninguno de esos esquemas es una *regla* de inferencia ni puede convertirse en tal: ninguno de ellos permite ni prohíbe inferencias: son simplemente procedimientos *heurísticos* necesitados de control. Las conclusiones de las inferencias posibles no se siguen con certeza en cualquier caso: lo que se “sigue” es siempre una conjetura, y de modo mucho más suasorio que deductivo: por eso podría llamarse *lógica sugestiva* la lógica correspondiente a esas inferencias. Todo intento de santificar tales pecados está llamado a fracasar, porque la inferencia plausible depende de la naturaleza del caso, o sea, del contenido de la premisas, y no de su forma: es contingente y resulta imposible hacerla necesaria. La dependencia de la inferencia plausible respecto del contenido es lo que constituye su debilidad lógica y su fuerza heurística.

¿Qué lugar ocupan en la ciencia esos esquemas de inferencia plausible? La analogía sustantiva, la inducción de primer grado, la generalización estadística y la especificación estadística se presentan en la formulación de proposiciones de nivel bajo, tanto en el conocimiento ordinario cuanto en la ciencia. La analogía estructural da a veces lugar a la conjetura de hipótesis de nivel alto. Los demás esquemas, junto sobre todo con las formas de inferencia deductiva, la inducción de primer grado y la generalización estadística, se presentan en las inferencias practicadas para contrastar hipótesis y teorías. Es verdad que en nuestro ejemplo de inducción de primer grado aparecía un concepto teórico, a saber, “carga del electrón”. Pero eso no hace sino ilustrar el hecho de que las leyes fundamentales no pueden obtenerse por inducción, y aún menos, naturalmente mediante salto directo a partir de proposiciones individuales que expresen datos empíricos: la mera medición de la carga del electrón requiere unas cuantas fórmulas teóricas, incluida la hipótesis de nivel alto que afirma que hay unidades de carga eléctrica. No se trata sólo de que, de hecho, la analogía sustantiva, la inducción de primer grado y la generalización estadística no se presenten en la formación de hipótesis de nivel alto; se trata además de que les está vedado *de iure* escalar tales alturas, porque hay que contar con conceptos de nivel alto antes de que puedan presentarse en hipótesis de dicho nivel. Aparte de eso, las hipótesis de nivel alto que son enunciados universales no suelen surgir como generalizaciones laboriosas y paso a paso a partir de singularidades, sino que *nacen* ya como enunciados generales. La tarea de la inducción no consiste en engendrar tales generalidades, sino en tomar parte en su contrastación empírica, como veremos en la sec. 15.4.

La inducción, la generalización y la ejemplificación estadísticas, así como el *modus ponens* y el *modus tollens* débiles y la reducción, fuerte o débil, pueden ser arbitrarios o controlados. Así, por ejemplo, la generalización inductiva puede ser un salto libre a partir de una colección arbitraria o cualquiera (una muestra que no sea al azar) a un determinado universo, o bien puede restringirse mediante la teoría estadística. El *control estadístico* de una inferencia plausible consiste en construir deliberadamente una muestra al azar y representativa —por ejemplo, de datos— y en estimar la evidencia representada por esa muestra. La estadística matemática suministra criterios más o menos fundados de representatividad de las muestras y de la fiabilidad de las inferencias. En particular, la

estadística se ocupa de cuantificar el riesgo asumido al obtener “conclusiones” partiendo de datos empíricos y sin teoría, o sea, en el estadio protocientífico. En los primeros estadios de una disciplina, la mayoría de las hipótesis se estiman casi exclusivamente con base en datos empíricos. Ahora bien: los resultados de esas estimaciones pueden deberse al azar: la hipótesis de casualidad no puede excluirse cuando no se conoce sino poco o nada acerca del mecanismo que produce esos efectos. La conjetura de que un conjunto de datos referentes a las variables controladas se debe a variables incontroladas se llama, como sabemos (cf. sec. 14.4), la *hipótesis nula*; la conjetura opuesta, según la cual los datos reflejan cambios de las variables controladas, es una entre varias hipótesis posibles contrarias a la nula. Si ninguna de las hipótesis en conflicto tiene un basamento teórico, el experimentador no puede basarse más que en sus datos. Ahora bien: si toma la decisión de rechazar la hipótesis nula, o sea, la decisión de aceptar alguna de las hipótesis según las cuales el efecto es real, el experimentador está sin duda asumiendo algunos riesgos. Y si esa decisión (la de rechazar la hipótesis nula) es errada, se dirá que el experimentador ha cometido un *error del tipo primero*. El correspondiente riesgo de cometer una tal inferencia errónea se llama *nivel de confianza*, y es un número, α , mucho menor que la unidad, por ejemplo, 0,05. La aceptación errónea de la hipótesis nula se llama *error del tipo segundo*. El riesgo correspondiente, β , se mide por otro número que es también mucho menor que la unidad. La elección de α y β , es cosa del experimentador: cuanto más severa sea una contrastación, tanto menores tendrán que ser α y β . (Desgraciadamente, esos números no pueden aprovecharse para definir el concepto de “dureza de una contrastación”, porque la proposición recíproca es falsa.) En cualquier caso, la estadística suministra criterios de inferencia (plausible) respecto de la significación estadística de un conjunto de resultados empíricos y de la determinación del riesgo de obtener inferencias erradas. (Esos errores de inferencia no deben confundirse con errores de medición.) Pero ninguno de esos criterios *garantiza* la verdad de una generalización: son meros lastres que impiden dar saltos precipitados, no expedientes que garanticen saltos siempre afortunados. Así pues, la estadística no construye teorías ni las establece firmemente, sino que interviene en su contrastación; por tanto, la estadística pertenece a la metodología de la ciencia experimental y, consiguientemente, todo tratamiento detallado de la inferencia plausible tiene que ser compatible con la teoría estadística.

Pero hay que darse cuenta de que la importancia de la estadística en la proyección y la interpretación de las operaciones empíricas es inversa de la determinación y riqueza de las ideas que están en curso de contrastación. Una hipótesis cualitativa —como: El talento “depende” de la ejercitación anterior— exigirá un cuerpo de datos mucho más voluminoso y un examen estadístico del mismo mucho más complejo que, por ejemplo, una hipótesis cuantitativa que pueda contrastarse por simple medición. Si la misma hipótesis contrastada es fuerte, no necesitaremos concentrar el esfuerzo en la búsqueda de contraejemplos posibles, ni en el aumento indefinido de ejemplos confirmadores: bastarán unas pocas confirmaciones en puntos estratégicos para poner de manifiesto si vale la pena seguir investigando (no aceptar simplemente) la idea. Y si la hipótesis, además de ser precisa y fuerte, es sistemática, o sea, si está relacionada con otras hipótesis científicas, en vez de estar aislada, entonces su contrastabilidad aumenta todavía más, y, consiguientemente, puede disminuir el acervo de los datos directamente relevantes y la

complejidad de la elaboración de los mismos. Es más rentable imaginar hipótesis fuertes y explicitarlas y detallarlas y planear su contrastación que poner toda la esperanza en que las técnicas estadísticas o las calculadoras nos eximan del trabajo de pensar.

En conclusión: la ciencia de la inferencia no-deductiva no puede intentar convalidar o justificar unas inferencias que no son lógicamente válidas, o sea, no puede proponerse la consagración de esquemas del tipo tendencial en el estatus de leyes. En vez de imitar los pasos de la lógica deductiva debe discernir, analizar y criticar los esquemas o las estructuras de la inferencia no-deductiva, estudiar, con la ayuda de la estadística matemática, las condiciones en las cuales pueden disminuirse —no eliminarse— los riesgos de pasar a “conclusiones” erróneas, o sea, las condiciones en las cuales aquellas inferencias, aunque no sean concluyentes, son plausibles

Problemas

15.1.1. Examinar las diferencias entre una analogía y una argumentación por analogía, o sea, una inferencia analógica. En particular, discutir si un enunciado de homología —de la forma “ A es a B como C es a D ”, o sea: “ $A : B :: C : D$ ” —se presenta en la primera o en la última. *Problema en lugar de ése:* Examinar el papel desempeñado en la bioquímica moderna por la analogía de la cerradura y la llave, presente, por ejemplo, en conceptos como la reacción antígeno-anticuerpo y la relación molécula-receptividad olfativa.

15.1.2. Comentar la distinción aristotélica entre *argumentaciones apodícticas*, que parten de premisas verdaderas, y *argumentaciones dialécticas*, la cual usa premisas cuyo valor veritativo es desconocido. ¿Se utilizan en la ciencia esos modos de argumentación?

15.1.3. ¿A qué disciplina debe atribuirse el estudio de la inferencia plausible? ¿A la lógica formal, a la estadística o a la epistemología? ¿O requiere un planteamiento y un estudio interdisciplinarios?

15.1.4. La especificación y la generalización estadísticas son plausibles si lo que se ha tomado es una muestra al azar y si el tamaño de la muestra no es muy pequeño; porque si la muestra no es al azar o si su tamaño es muy reducido, pueden encontrarse marcadísimas oscilaciones alrededor de la frecuencia. (La condición de que el muestreo se haga al azar es más importante que el tamaño de la muestra.) ¿Es en esos casos perjudicial la inferencia, o puede a pesar de todo usarse sin más valor que el de una indicación preliminar? Recordar lo dicho en la sec. 9.5.

15.1.5. Estudiar el método de los intervalos de confianza o de seguridad que es aplicable a la generalización estadística (esquema 5 del texto). *Problema en lugar de ése:* Las ondas de luz, los átomos, los genes, los virus y otras entidades con alguna analogía con éstas se toman a menudo como si su existencia se hubiera inferido de observaciones, razón por la cual se las llama *entidades inferidas*. ¿Está justificado ese nombre en los casos citados?

15.1.6. ¿Es posible justificar o convalidar la inferencia plausible por el procedimiento de modelarla en algún patrón matemático, como es la teoría de la probabilidad? Véase el problema dado en segundo lugar en 5.1.3., y cf. W. Kneale, *Probability and Induction*, Oxford, Clarendon Press, 1949. *Problema en lugar de ése:* Los físicos no utilizan instrumentos estadísticos tan refinados como los que manejan psicólogos y sociólogos, para contrastar las hipótesis y las teorías físicas. Se ha dicho por ello que los físicos tendrían que ponerse en este aspecto a la altura de los científicos de la conducta. ¿Es justa esa exhortación?

15.1.7. Los sistemas de “lógica” inductiva hoy día existentes son juegos filosóficos no sugeridos ni usados por la investigación científica realmente practicada. Una razón explicativa de esa

circunstancia es que dichos sistemas no se aplican más que a generalizaciones aisladas, de nivel inferior, o sea, de interés científico escaso o, a lo sumo, a generalizaciones empíricas protocientíficas. ¿Qué teoría de la inferencia estadística utilizan realmente los científicos y técnicos, y cuáles son sus rasgos principales?

15.1.8. Es hoy día corriente que se tome una de las dos siguientes y extremas actitudes respecto de la inferencia plausible. Una de ellas consiste en considerar la inferencia plausible como un proceso psicológico y nada más, que no necesita más investigación lógica que la intuitiva y repentina iluminación de la imaginación intelectual; la otra actitud consiste en construir algún sistema a priori de lógica inductiva que imite los de la lógica deductiva. Examinar las dos actitudes y dictaminar acerca de si hay aún lugar para una actitud intermedia.

15.1.9. Si un predicado P es verdadero de un individuo cualquiera, x , entonces puede generalizarse válidamente para todo individuo (del mismo conjunto): $P(x) \vdash (x)P(x)$. ¿Es aplicable esa regla de inferencia a la ciencia factual? Si no lo es, ¿por qué? Y si en la fórmula anterior sustituimos la frase ‘un individuo tomado al azar’, ¿obtenemos un esquema de inferencia que sea adecuado para la ciencia factual? ¿Qué clase de esquema? ¿De inferencia válida o de inferencia plausible (heurística)?

15.1.10. Considerar el esquema de inferencia llamado *principio (débil) de inducción matemática*, o esquema de las demostraciones recursivas o por recursión. Sea $p_0, p_1, \dots, p_n, \dots$ una secuencia numerable de proposiciones. El esquema es: $\{p_0, p_k \rightarrow p_{k+1}\} \vdash (n)p_n$. Cuestiones interesantes al respecto: ¿Se trata de un principio primitivo o puede deducirse? En particular: ¿es posible deducirlo de la lógica elemental (de enunciados) o es un principio matemático irreducible? ¿Qué tiene que ver con la inducción? ¿Podría aplicarse para establecer generalizaciones factuales no restringidas, o sea, enunciados de leyes, sobre la base del examen de casos individuales?

15.2. CONTRASTACIÓN DE PROPOSICIONES OBSERVACIONALES

Lógica y epistemológicamente, las proposiciones factuales más simples son las que refieren a hechos observables aislados, como “Esa cosa es negra.” La contrastación de esas proposiciones no presentan ninguna dificultad metodológica, siempre que nos contentemos con el concepto cualitativo de negrura. Se presentarán problemas metodológicos si trabajamos con el concepto físico de negrura, no con el que es propio del sentido común, porque entonces eso exigirá mediciones de las radiaciones y absorciones relevantes para el cuerpo considerado. La proposición, aparentemente trivial e inocente, “Esta cosa es negra” puede, ciertamente, no plantear siquiera el problema de averiguar *cómo sabemos* su verdad (o falsedad), esto es, el problema que consiste en indicar los adecuados instrumentos conceptuales y materiales que nos permitan estimarla. Pero sí que plantea el problema de su *significado*, de lo que significa decir que la proposición es verdadera o falsa, y éste es un problema filosófico.

Los criterios veritativos se elaboran en las ciencias particulares según la naturaleza de cada caso. Pero no hay conjunto de criterios veritativos que pueda sustituir la dilucidación del concepto de verdad, por mucho que esos criterios puedan contribuir a la aclaración del concepto; del mismo modo ninguna prueba de acidez resuelve el problema de la significación del término ‘ácido’. Sin duda diremos que una proposición observacional es verdadera si y sólo si *concuera* con los hechos o expresa *adecuadamente* la situación

a la que refiere, o si *recoge* la observación efectiva. Pero ¿qué significa que una proposición recoge una entidad no-conceptual, como es un hecho? Esta adecuación, concordancia o encaje es metafórico: puede cortarse un traje para que encaje con un cuerpo, o una proposición para que implique otra: en esos casos comparamos objetos de la misma naturaleza, objetos que son ambos físicos o ambos conceptuales. Pero ¿cómo podemos comparar dos objetos heterogéneos como son una idea y un hecho? Podemos comparar x con y siempre que x e y tengan en común alguna propiedad, y precisamente aquella respecto de la cual se establece la comparación; así, por ejemplo, podemos decir que x es más largo que y si x e y tienen ambos longitud. Pero no podemos decir que una idea sea más negra que su referente, o que una cosa sea más verdadera que su idea. En cambio, sí que podemos *confrontar* una idea con su referente: pero también de un modo metafórico, porque lo que no podemos hacer es poner materialmente una enfrente de la otra en el espacio, pues las ideas no tienen existencia separada en el espacio físico.

*Las únicas comparaciones posibles, en el sentido estricto de la palabra 'comparación', serían las comparaciones entre un hecho y (i) el signo (forma física) que representa la proposición expresiva del hecho, o (ii) el proceso psicofisiológico que tiene lugar en nuestro cerebro cuando concebimos la proposición que "refleja" el hecho. En ambos casos se trata de relaciones entre objetos físicos. La primera comparación es posible, pero inútil, porque una misma proposición puede expresarse de infinitas maneras. La segunda comparación es deseable, y posible en principio en el caso de los hechos perceptibles. (Piénsese en el proceso fisiológico inducido primero en la retina y luego en la corteza cerebral por el paso de un amigo a través de nuestro campo visual.) Esa comparación puede mostrar el mecanismo por el cual se forman ideas verdaderas o falsas en respuesta a situaciones físicas y, a la inversa, las acciones que siguen a la formación de ciertas ideas. Una investigación así podría permitir la caracterización de la verdad como una determinada relación entre dos objetos físicos, un proceso cerebral y el correspondiente estado o situación en el exterior. Pero también sería inútil en el caso más interesante, que es el de las proposiciones no-observacionales, y no podría darnos una caracterización de la verdad como propiedad de *proposiciones* en ciertos contextos conceptuales, a menos que consiguiéramos caracterizar las proposiciones como meros procesos psicofisiológicos. Mientras ese programa siga en el estado en que está hoy —a saber: sin que se haya llevado a cabo ni se haya probado que es inviable—, lo mejor que podemos hacer es adoptar una especie de dualismo metodológico, considerar las ideas y los hechos como cosas heterogéneas y la verdad, consiguientemente, como una propiedad básica de las proposiciones (en determinados contextos), propiedad que no es ulteriormente analizable; pues un ulterior análisis del concepto de verdad consistiría en rellenar totalmente los hiatos existentes entre las ideas y sus referentes, tarea que por el momento está más allá de nuestras posibilidades (acaso porque hasta el momento no se ha planteado siquiera nunca con seriedad).*

Pero el hecho es que ni podemos esperar hasta que estén resueltas todas esas dificultades ni tampoco podemos prescindir del concepto de verdad, porque sin él carece de sentido la contrastación de ideas. Por tanto, adoptaremos aquí la decisión, meramente práctica y escandalosamente no-filosófica, de no analizar el concepto de verdad como propiedad de las proposiciones observacionales singulares, tomándolo como concepto primitivo con base en el cual puede analizarse la verdad de proposiciones más complejas

que esas. Si, pues, fingimos saber lo que quiere decir que una determinada proposición referente a un determinado hecho observable es verdadera, podemos preguntarnos por la verdad de las generalizaciones empíricas, tales como “Todos los pájaros de la ciudad son pájaros cantores.” El valor veritativo de una tal *generalización limitada* podría establecerse fácilmente si ello nos interesara. Seguramente supondría la operación problemas técnicos, pero no, desde luego, problemas fundamentales; porque una generalización así no es más que una conjunción de un número finito de proposiciones observacionales singulares, y hemos convenido en fingir que sabemos en qué consiste la verdad de tales proposiciones.

Problemas más serios surgen en relación con las *generalizaciones ilimitadas*, como “Todos los sinsontes adultos cantan”; pero también en este caso los problemas son técnicos. Tomaríamos una muestra al azar de esos pájaros, observaríamos su comportamiento respecto del canto, calcularíamos las frecuencias de los sinsontes cantores en las diversas muestras, luego la frecuencia general, y saltaríamos de ahí a la conclusión plausible de que la ilimitada (pasada, presente y futura) población mundial de sinsontes tiene la propiedad indicada con tal frecuencia. O sea: podemos usar técnicas estadísticas bien conocidas, como el muestreo al azar, para controlar nuestras referencias. Esas técnicas no nos garantizan la verdad de nuestras “conclusiones” (afirmaciones puestas) con base en los datos observacionales, pero, por lo menos, nos permiten maximalizar el grado de verdad de nuestras generalizaciones y, llegado el caso, corregirlas.

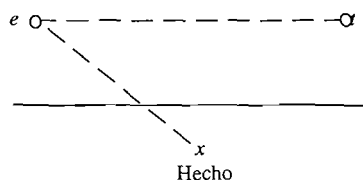
Si deseáramos rebasar la convalidación empírica, o sea, si deseáramos obtener un enunciado de ley, y no una generalización empírica, tendríamos que intentar insertar el resultado en una teoría. Con ello podríamos explicar el mecanismo por el cual los sinsontes no pueden evitar cantar, y entonces, si consiguiéramos observar o producir un sinsonte mudo, podríamos contrastar dicha hipótesis acerca del mecanismo del canto. Si la hipótesis supera esa contrastación, terminaremos completando la inicial generalización empírica de un modo parecido al siguiente: “Todos los sinsontes adultos dotados de tales o cuales características bioquímicas, fisiológicas y ecológicas cantan.” O sea, en ese caso podríamos explicar y, por tanto, entender la generalización. En cualquier caso, el problema del valor veritativo de las generalizaciones observacionales, limitadas o no, es en principio resoluble, aunque no de un modo definitivo, con la ayuda de la estadística y de la correspondiente teoría sustantiva.

Pero ya esas generalizaciones empíricas cualitativas suscitan un problema filosófico: el problema de la *verdad parcial*. Si hubiéramos supuesto inicialmente que todos los *A* son *B* y la experiencia nos mostrara que el 10% de los *A* no son *B*, no concluiríamos que “Todos los *A* son *B*” es un hipótesis simplemente falsa, sino más bien que es *parcialmente* falsa, o, como también puede decirse, que esa generalización es verdadera en tal o cual medida o grado. Además: podríamos tener la tentación de decir que su grado de verdad es 9/10, puesto que la hipótesis resulta verdadera en 9 de cada 10 casos o ejemplos. *Si hiciéramos eso, estaríamos admitiendo tácitamente que el valor veritativo de la conjunción de *N* proposiciones mutuamente compatibles e independientes es la media del valor veritativo de los varios mientos de la conjunción, o sea, que $V(e_1 \& e_2 \& \dots \& e_N) = (1/N) \sum_i V(e_i)$. Obsérvese que esa afirmación es cosa muy diversa de la probabilidad de la conjunción, la cual equivale al producto de las probabilidades de los miembros de la misma. Pueden proponerse otras fórmulas.*

El concepto de verdad parcial y, particularmente, el de verdad aproximada se usa de un modo explícito en relación con enunciados cuantitativos, y subyace a las varias técnicas y aproximaciones sucesivas. Así, por ejemplo, cuando estimamos el número de objetos de una determinada clase en una región atribuyéndole la dimensión 100 y luego resulta que el cómputo efectivo da 110, decimos que nuestra estimación contenía un error del 10%, o también que se desvió de la verdad en una fracción equivalente a $1/10$. Podemos también decir que el supuesto inicial tenía un grado de verdad equivalente a $9/10$. En resolución, el hecho es que tanto en la vida cotidiana cuanto en la ciencia, e igual en la ciencia pura que en la aplicada, utilizamos el concepto de verdad parcial y a veces llegamos a cuantificarlo. Sólo los lógicos siguen oponiéndose a la idea de verdad parcial, razón por la cual usan en realidad un concepto intuitivo y presistemático de la misma.

La contrastación de las proposiciones observacionales derivadas con la ayuda de teorías científicas plantea problemas especiales; esos problemas son más sencillos en un respecto y más complejos en otro. La contrastación de una proposición de nivel bajo, como una predicción, es más simple que la de una proposición no teórica, en el sentido de que la primera se reduce a la confrontación de dos objetos de la misma clase: la proposición contrastada, t , y la correspondiente evidencia empírica, la cual es otra proposición, e (cf. fig. 15.1). No habría ninguna dificultad si t y e fueran o pudieran hacerse idénticas. Pero no lo son nunca, y eso es una fuente de complejidad. De hecho, y según hemos visto repetidas veces, el referente de una teoría no coincide con la evidencia relevante para ella.

FIGURA 15.1. Contrastación: confrontación con un hecho en el caso de un enunciado no teórico, e , y contrastación con otra proposición en el caso de un enunciado teórico, t .



Tomemos, por mayor concreción, el caso de una predicción cuantitativa referente a una propiedad directamente observable, P , predicción que contrastamos o ponemos a prueba por medio de una serie de mediciones. Supongamos que predecimos un determinado valor, n , en unidades u , de la propiedad P en una cosa c que se encuentra en un estado determinado, y que, por medición, obtenemos un valor algo diferente, n' , con un margen de error igual a σ :

$$t = [P(c, u) = n] \quad [15.1]$$

$$e = [\bar{m} P(\dot{c}, u) = n' \pm \sigma] \quad [15.2]$$

siendo $\bar{m} P(\dot{c}, u)$ el valor medido medio de la propiedad P del objeto real $\dot{c}$. Esas dos proposiciones son diferentes incluso en el caso, infrecuente, de que coincidan los valores numéricos, o sea, incluso en el caso $n' = n$ y $\sigma = 0$. Efectivamente: (i) la proposición teórica t refiere de modo inmediato a un sistema más o menos idealizado, c , mientras que la proposición empírica e se refiere a un sistema real, $\dot{c}$ que se supone representado

por c (cf. sec. 8.4); (ii) la proposición empírica contiene los conceptos de valor medido y de promedio, que no aparecen en la proposición teórica. (Habría otra diferencia más si la proposición teórica contuviera un error teórico introducido por alguna hipótesis simplificadora.) Si nos detuviéramos en este punto, tendríamos que concluir que ninguna operación empírica, por precisa que sea, podría nunca confirmar ni refutar una predicción teórica. Pero si hiciéramos eso tendríamos que condenar la teorización, la experiencia o ambas.

La dificultad descrita se resuelve en cuanto se abandona la caprichosa doctrina de que las teorías científicas implican proposiciones observacionales y se reconoce el hiato existente entre las proposiciones teóricas y las empíricas, salvándolo por medio de la siguiente *Convención*: Una proposición teórica cuantitativa tiene el mismo valor veritativo que la correspondiente proposición empírica si y sólo si ambas coinciden hasta el margen de error experimental, o sea, si la diferencia entre los correspondientes valores numéricos no es mayor que el error *estándar*. Esta convención, que es de naturaleza epistemológica más que lógica, puede considerarse como dilucidación del concepto de *equivalencia epistémica* entre proposiciones que formal y semánticamente no se equivalen. De hecho, y para el caso de las proposiciones cuantitativas [15.1] y [15.2], la anterior convención puede parafrasearse en forma de definición, a saber:

$$t \text{ Eq } e =_{\text{df}} |n - n'| < \sigma \quad [15.3]$$

Si ése no es el caso —o sea, si $|n - n'| \geq \sigma$ —, “inferimos” que e no es epistémicamente equivalente a t .

Las discrepancias entre los valores medidos y los valores calculados resulta significativa si rebasa el error experimental. Ese exceso puede considerarse medida de las diferencias de valor veritativo entre los resultados empíricos y los teóricos, pero, hasta el momento, no disponemos de ninguna teoría de la verdad parcial que sea razonablemente aceptada. Por eso lo que suele hacerse es indicar las diferencias e “inferir” alguna de las siguientes “conclusiones” cualitativas:

1. *La evidencia disponible es favorable a la predicción (e apoya a t).*
2. *La evidencia disponible es desfavorable a la predicción (e debilita t).*
3. *La evidencia disponible es inconcluyente respecto de la predicción (e es neutral respecto de t).*

Cualquiera de las dos primeras conclusiones se califica a su vez de los siguientes modos: “ e suministra una confirmación fuerte (débil) de t ”, o “ e suministra una desconfirmación fuerte (débil) de t ”.

En cualquier caso, lo que se llama *inferencia científica* —para distinguirla de la inferencia deductiva— es precisamente la elaboración de estimaciones de ese tipo respecto del peso de la evidencia empírica relevante para ciertas proposiciones. Suele hablarse a este respecto de “obtención de conclusiones” a partir de los datos empíricos, pero la expresión es incorrecta: sólo la deducción estricta puede “obtener” o “extraer” conclusiones a partir de premisas. No menos incorrecto sería decir que cualquiera de las tres “con-

clusiones" cuyos tipos se acaban de reseñar es una *decisión*: son simplemente *estimaciones*, y, como tales, pueden suministrar bases para la decisión (provisional) de aceptar t , rechazar t o dejarlo sin decidir. Lo que se discute en la inferencia científica es (i) la *confrontación* de dos conjuntos de proposiciones, uno por lo menos de los cuales es empírico, y (ii) la formulación de un *tercer* conjunto de proposiciones (en realidad, meta-enunciados) referentes al valor veritativo de uno de los conjuntos dados basándose en el otro. Los enunciados de estimación (o sea, los del tercer conjunto) se construyen con la ayuda de convenciones no-lógicas vagamente formuladas, como la que se refiere a las proposiciones epistémicamente equivalentes, y rara vez se consideran más concluyentes que los enunciados acerca de los cuales "concluyen".

Según todo lo dicho puede haber cuatro clases de problemas sobre la estimación de las proposiciones observacionales: (i) estimación de las proposiciones teóricas calibrándolas por medio de proposiciones empíricas; (ii) contrastación de las proposiciones empíricas (relativas, por ejemplo, a un nuevo aparato) sobre la base de las predicciones derivadas con la ayuda de una teoría; (iii) confrontación de dos conjuntos de datos empíricos, uno de los cuales está de algún modo mejor o más sólidamente sostenido que el otro; (iv) confrontación de dos fórmulas teóricas una de las cuales se toma por alguna razón como línea de base. Esas cuatro posibilidades se muestran diagramáticamente en la figura 15.2.

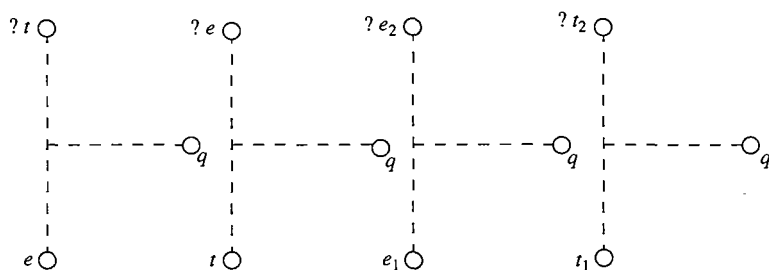


FIGURA 15.2. Las "conclusiones" q se "obtienen" de la confrontación de dos conjuntos de proposiciones, uno de los cuales se supone verdadero. Las líneas punteadas no simbolizan relaciones u operaciones lógicas (deductivas).

El esquema de inferencia es aún más complejo en el caso de los enunciados trasobservacionales (hipótesis); en este caso las t serán consecuencias contrastables de las hipótesis, de tal modo que el nuevo esquema absorberá el anterior, el cual se mantendrá fundamental. Echemos un vistazo a la lógica de la contrastación de hipótesis.

Problemas

15.2.1. Examinar el artículo de R. Carnap "Truth and Confirmation" (1936) reimpresso en H. Feigl y W. Sellars (eds.), *Readings in Philosophical Analysis*, Nueva York, Appleton-Century Crofts, 1949.

15.2.2. Supongamos que estamos conduciendo un coche en un día de lluvia y que la lluvia parece caer oblicuamente. Sabemos que esa apariencia puede ser resultado de dos movimientos respectivamente perpendiculares respecto del suelo. ¿Cómo procederíamos a inferir la realidad de la apariencia? Recordar que los astrónomos corrigen sus observaciones para tener en cuenta la aberración de la luz, que es un efecto parecido al descrito.

15.2.3. Enumerar y ejemplificar posibles fuentes de discordancia entre las predicciones teóricas y los resultados empíricos relevantes para las mismas. Cf., por ejemplo, M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, sec. 12.4.3.

15.2.4. Comparar cualquier enunciado teórico con un elemento de evidencia empírica que sea relevante para él, y precisar las diferencias entre las dos proposiciones. Luego examinar la opinión positivista sobre la inferencia científica, según la cual el esquema de ésta (equiparada con la inducción) sería: (i) formular la hipótesis " $h \rightarrow e_i$ "; (ii) contrastar para varias e_i ; (iii) atribuir un valor veritativo a h .

15.2.5. ¿Cuáles son las diferencias, si las hay, entre los enunciados siguientes?: (i) El individuo c tiene la propiedad P . (ii) Supongamos que el individuo c tiene la propiedad P . (iii) La proposición "El individuo c tiene la propiedad P " es verdadera. (iv) La proposición "El individuo c tiene la propiedad P " posee un alto grado de confirmación. (v) La proposición "El individuo c tiene la propiedad P " es verdadera si, y sólo si, cuando c se somete a la prueba T , presenta el comportamiento B .

15.2.6. ¿Debemos aceptar la afirmación de que predicciones teóricas y datos empíricos concuerdan (o discrepan) basándonos solamente en la autoridad de quienes la pronuncian? Cf. T. S. Kuhn, "The Function of Measurement in Modern Physical Science", *Isis*, 52, Pt. 2, 161, 1961, pp. 165-166.

15.2.7. ¿Hay alguna diferencia entre la verdad y la credibilidad? ¿Y puede ser la credibilidad un sustituto de la verdad?

15.2.8. Examinar la dilucidación por Tarski del concepto clásico de verdad como adecuación al hecho. ¿Se aplica esa dilucidación sólo en las teorías formalizadas? ¿Se aplica a hipótesis científicas, esto es, a enunciados que no se confronten directamente con cuestiones de hecho, aunque refieran a ellas? ¿Se aplica a sistemas de hipótesis, o sea, a teorías? Cf. A. Tarski, "The Semantic Conception of Truth", *Philosophy and Phenomenological Research*, 4, 341, 1944, reimpreso en el volumen citado en el problema 15.2.1.

15.2.9. Mostrar si el método de aproximaciones sucesivas supone el concepto de verdad parcial y el de secuencia de enunciados que se aproximan a la verdad. Cf. W. S. Jevons, *The Principles of Science*, 2a. ed., 1877; Nueva York, Dover Publications, 1958, cap. XXI y cualquier estudio sobre análisis numérico. Recuérdese la sec. 1.3.

15.2.10. Esbozar una teoría de la verdad parcial. Sugerencia: considerar el problema de la atribución de un valor veritativo a un compuesto proposicional de dos miembros, como $p \& q$, dados los valores veritativos de los componentes. Tener en cuenta que las fórmulas resultantes tienen que incluir el caso especial de la verdad total y el de la falsedad total, de tal modo que, en particular, tienen que dar $V(p \vee \neg p) = 1$ y $V(p \& \neg p) = 0$.

15.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hasta el momento nos hemos ocupado de las proposiciones *directamente* contrastables, o sea, de los enunciados cuya contrastación no depende de los resultados obtenidos de la

contrastación de otras proposiciones. Todas las proposiciones singulares y existenciales en las que no aparecen más que predicados observacionales son directamente contrastables. Todos los demás enunciados factuales son *indirectamente* contrastables, o sea, su contrastación supone la puesta a prueba empírica de otras proposiciones. Por ejemplo: mientras que “La aguja de este amperímetro ha sufrido una desviación” es directamente contrastable por inspección visual, la contrastación de “Este amperímetro indica que está circulando por el circuito una corriente de 10 amperios” requiere no sólo la inspección del aparato, sino también la aceptación de la ley que relaciona la inflexión de la aguja con la intensidad de la corriente, ley incorporada al plano del instrumento y al código o cifrado que regula su uso. Todas las hipótesis son indirectamente contrastables, puesto que, por definición, contienen conceptos no-observacionales. Además, son *incompletamente* contrastables por la experiencia, porque, también por definición, la rebasan (cf. sec. 5.1).

Supongamos que deseemos contrastar la suposición de que un determinado objeto es de oro. A primera vista, la afirmación parece una proposición observacional, pero si recordamos lo fácilmente que se nos puede engañar con buenas imitaciones del oro, nos daremos cuenta de que se trata propiamente de una hipótesis: “amarillo”, “brillante” y “pesado” son conceptos observacionales, pero “de oro” o “áureo” no lo es, o, por lo menos, no lo es hoy día. La proposición “Esto es de oro” es, pues, una hipótesis singular. La contrastación más simple a que podemos someterla consiste en echar a la cosa un ácido adecuado, *agua regia*, y ver qué pasa. La hipótesis subyacente a esa contrastación es que las cosas de oro se disuelven con ese tratamiento. La inferencia será, pues, el siguiente caso de reducción débil (cf. el esquema 9 de la sec. 15.1): Si una cosa es de oro, el agua regia la disuelve; el agua regia ha disuelto esta cosa; por tanto, es posible que esta cosa sea de oro. Ahora bien: el agua regia puede disolver otras muchas cosas además del oro: para que una cosa se disuelva en agua regia es suficiente, pero no necesario, que sea de oro. Si fuera necesario, la premisa mayor de la inferencia sería: “Si el agua regia disuelve una cosa, entonces esa cosa es de oro”, y la argumentación cumpliría la forma válida del *modus ponens*. Pero, tal como está, el razonamiento es la forma más corriente de falacia lógica. No obstante, aunque no tiene ningún valor lógico-formal, da alguna indicación y es por tanto estimable cognoscitivamente, siempre que tengamos presente que no concluye. Una vez aplicada la técnica del agua regia y mostrado la posibilidad de que la cosa sea de oro, podemos preocuparnos por técnicas más complejas y potentes, como el análisis de los productos de reacción, el análisis de la estructura cristalina con la ayuda de los rayos X, o incluso la determinación del número atómico de la sustancia. En cambio, si la prueba con el agua regia ha dado un resultado negativo, nuestra inferencia habrá sido una conclusión propiamente dicha: podremos afirmar categóricamente que la cosa en cuestión no es de oro, y la afirmación será lógicamente válida. Efectivamente, nuestra inferencia cumpliría en este caso el esquema del *modus tollens*: Si de oro, disuelta; no disuelta; luego no de oro. En resumen: la contrastación empírica de una hipótesis supone (i) la aceptación o el uso hipotético de *otras* hipótesis, y (ii) el uso de esquemas de inferencia concluyente y/o incoada o plausible.

Algunas hipótesis son menos directamente contrastables que otras, o sea, su contrastación supone una cadena de proposiciones más larga. Tomemos, por ejemplo, la ley galileana de inercia, de la que a menudo (y equivocadamente) se supone que es una genera-

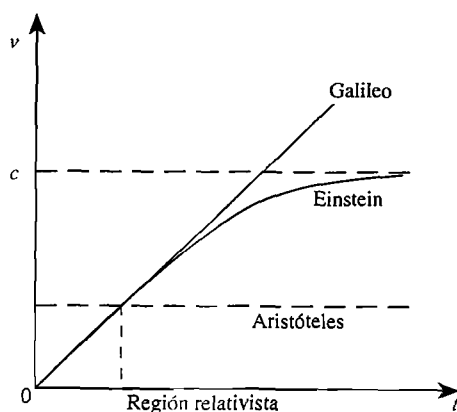
lización inductiva a partir de la observación. No hay experimento que pueda contrastarla directamente, puesto que ninguna región del universo satisface exactamente el antecedente de la ley, a saber, la ausencia completa de fuerzas. Lo que muestran los experimentos e incluso la observación ordinaria es una determinada disminución de la aceleración a medida que se debilitan las influencias externas: de eso saltamos a la “conclusión” de que si la fuerza es cero, la aceleración es también cero, hipótesis que no puede llevarse a ninguna contrastación empírica. Pero aun en el caso de que no dispusiéramos de las aludidas evidencias indirectas aceptaríamos la ley de inercia en el dominio de la mecánica clásica porque queda indirectamente corroborada por toda aplicación con éxito de la mecánica newtoniana, parte de la cual es la ley de Galileo.

*O tomemos la ley relativista relativa a la caída libre de un cuerpo en un campo gravitatorio constante: cf. fig. 15.3. En el momento de escribir estas líneas, esta ley no parece estar suficientemente sometida a contrastación empírica, mientras que la correspondiente ley clásica se ha confirmado satisfactoriamente decenas de miles de veces. Pero admitimos que la ley relativista es más verdadera que la correspondiente ley clásica por-

FIGURA 15.3. Cuerpo en caída libre. Ley clásica: $v = gt$. Ley relativista:

$$v = gt / (1 + \frac{g^2 t^2}{c^2})^{1/2}.$$

La ley de Einstein se reduce a la de Galileo para $gt \ll c$, o sea para duraciones pequeñas y/o campos gravitatorios débiles. En el extremo límite relativista (ignorado por Aristóteles), la ley de Einstein resulta coincidir con la aristotélica.



que es una entre muchas consecuencias lógicas de los principios contrastados mediante el examen de otras consecuencias lógicas. O sea, la ley relativista tiene el apoyo indirecto de todas las hipótesis con las que está lógicamente relacionada (incluida la electrodinámica clásica) y que han superado satisfactoriamente la contrastación empírica: Además: cuando se estima el grado de verdad de la ley galileana se toma la de Einstein como línea de base (cuarto caso de la fig. 15.2). Dicho de otro modo: calculamos el error de la ley galileana (directamente contrastada) respecto de la de Einstein (sin contrastar directamente):

$$\varepsilon (G | E) = | E - G | / E = | 1 - (1 + \frac{g^2 t^2}{c^2})^{1/2} |,$$

y por tanto, el valor veritativo de la ley de Galileo respecto de la de Einstein puede indicarse por:

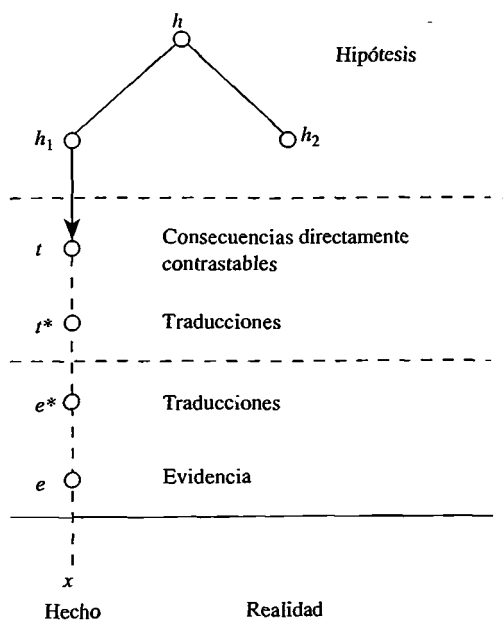
$$V(G | E) = 1 - \varepsilon = 1 - \left| \left(1 + \frac{g^2 t^2}{c^2} \right)^{1/2} - 1 \right| \cong 1 - \frac{1}{2} (g^2 t^2 / c^2)$$

Inferimos entonces que nuestra limitada experiencia a propósito de cuerpos en caída libre es un error del orden v^2/c^2 , despreciable, en efecto, por lo que hace a la experiencia ordinaria. En resumen: a veces corregimos experiencias gracias a teorías contrastadas en otras áreas. La contrastabilidad directa no tiene ningún mérito especial para la atribución de valores veritativos en la ciencia.*

Por tanto, una hipótesis científica es *empíricamente contrastable* si implica enunciados directamente contrastables o está implicada por hipótesis de nivel superior que tienen consecuencias contrastables independientemente: cf. figura 5.6. Se dice que la hipótesis es más directamente contrastable en el primer caso que en el segundo. Pero en ninguno de los dos se reduce la contrastación a una confrontación directa de las hipótesis con un conjunto de datos. O sea, a pesar de la doctrina dominante, oficial, el hecho es que nunca tenemos $h \rightarrow e$ y e , sino más bien $h \rightarrow t$ y e , siendo t una proposición directamente contrastable, pero no observacional, o sea, una proposición que, sometida a ciertas modificaciones, puede contrastarse con un informe empírico. Esta confrontación requiere la traducción previa de t y e a un lenguaje común, semiteórico y semiempírico, como se muestra en la figura 8.15 de la sección 8.4. (Recuérdese también la discusión hecha al final de la sec. 8.1.) Este intrincado proceso se resume en la figura 15.4, en la que ' t^* ' y ' e^* ' representan las traducciones de t y e , respectivamente, a un lenguaje semiteórico y semiempírico, traducción que posibilita su comparación. En resumen, la contrastación de las hipótesis es muy indirecta. Insistamos en este punto.

Podemos contrastar la hipótesis de que una determinada persona está mentalmente ausente, porque una persona así no reacciona a pequeños cambios del medio ambiente

FIGURA 15.4. Contrastabilidad empírica: h_1 es más directamente contrastable que h_2 , la cual tiene el apoyo indirecto de la evidencia e , relevante para h_1 . Pero e es relevante para h_1 a través y por medio de su refinado e^* , comparable con la traducción t^* de la consecuencia t de h_1 .



que normalmente perciben otras personas despiertas y alertas, o, por lo menos, porque suponemos que eso es verdad. Si nuestro sujeto responde a tales cambios, podemos inferir (por *modus tollens*) que no estaba mentalmente ausente. En cambio, si parece no darse cuenta de ellos, podemos presumir (por reducción) que de hecho está mentalmente ausente, aunque, en realidad, puede que sea sordo, o ciego, o incluso que esté simulando o muerto. No hay hipótesis que sea por sí misma contrastable: para que pueda someterse a una contrastación empírica, la hipótesis tiene que poseer consecuencias observacionales, las cuales se derivan con la ayuda de algún cuerpo de conocimiento que no se discute en la contrastación misma: recuérdese nuestra discusión al respecto en la sección 5.2. Más precisamente: para contrastar una hipótesis tenemos que hacer la *ulterior* suposición de que, si la hipótesis es verdadera, serán perceptibles ciertos hechos, los cuales se considerarán manifestaciones, objetivaciones o índices de la situación que refiere la hipótesis. (Cf. la relación inobservable-índice, discutida en la sec. 12.3.) Esta ulterior hipótesis se construye, sin duda, con la ayuda del cuerpo del conocimiento previo y, en particular, con la ayuda de alguna teoría. En este primer sentido es indirecta la contrastación empírica de las teorías científicas.

Otro sentido en el cual la contrastación de las hipótesis y las teorías científicas es indirecta consiste en que esas construcciones no refieren a experiencias reales, sino a modelos o aspectos idealizados: contienen conceptos teoréticos sin contrapartida exacta en la realidad, y aún menos en la experiencia humana. (No puede sorprendernos que también este otro elemento de mediatez, de ausencia de inmediatez o de vía directa, se pase por alto en el tratamiento habitual del problema, porque ese tratamiento suele limitarse a las generalizaciones empíricas no científicas, razón por la cual pone el acento en la generalidad y desprecia el problema del referente.) Una ilustración sencilla, pero reveladora, de este punto se tiene en cualquier teoría que prediga la probabilidad de que una partícula puntual [o sea, una construcción] se encuentre en algún lugar de una línea recta [que también es una construcción]. Como hay infinitos puntos en cualquier segmento, habrá una infinitud de valores de probabilidad, y su conjunto constituirá una distribución probabilitaria como, por ejemplo, la de la fig. 15.5 (i). Nuestra hipótesis (la proyección

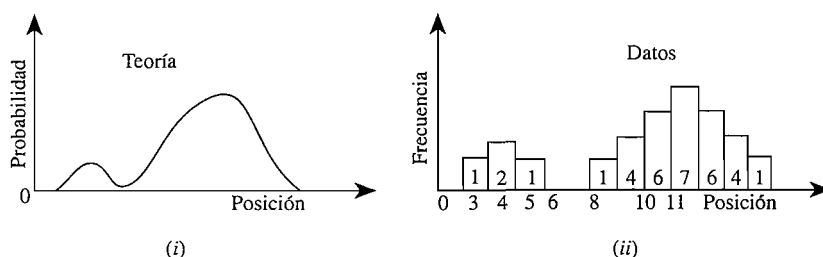


FIGURA 15.5. Comparación de la predicción probabilística con resultados empíricos (caso imaginario), (i) La distribución probabilística continua de la posición. (ii) La distribución discontinua de frecuencias de posición. El número de corpúsculos hallados en cada intervalo de posición se indica junto a la base del rectángulo correspondiente; así, entre las 10 y las 11 unidades de longitud a partir del origen se han hallado seis partículas.

de la teoría) contendrá, pues, las siguientes instrucciones: “partícula puntual”, “conjunto infinito de posiciones de una partícula puntual”, y “distribución probabilística”. Por otro lado, en el experimento tratamos con corpúsculos (o paquetes de ondas), y no con entidades inextensas; nos ocuparemos de un conjunto finito de mediciones de posición y de un histograma, no de una curva continua de distribución (cf. fig. 15.5 [ii]). La distribución de frecuencias empíricamente hallada y la distribución probabilística teóricamente calculada están separadas por un hiato insuperable: ninguna adición de datos puede hacer el milagro de convertir corpúsculos en partículas puntuales, conjuntos finitos en conjuntos infinitos, histogramas en funciones continuas. Tenemos que recoger esos hiatos entre la teoría y la experiencia y aprender a establecer las correspondencias adecuadas entre ellas, en vez de ignorar las diferencias o intentar reducir construcciones a datos.

El esquema general de la contrastación de hipótesis puede resumirse del siguiente modo:

1. *Conocimiento previo*, A , que no se pone en tela de juicio en la investigación en curso y que da origen a la hipótesis h , la contrastada. A
2. *Problema*: ¿Es h verdadera? $?h$
3. *Hipótesis adicional* (hipótesis de contrastación): De A y h se deriva: “Si h , entonces t ”. Salvo en el caso de que t se derive de A sólo, el condicional $h \rightarrow t$ tendrá que someterse a otra contrastación independiente. $h \rightarrow t$
4. *Traducción de t por t^** , por ejemplo, la operación de referir posiciones planetarias calculadas en el marco de referencia del Sol al marco de referencia de la Tierra. t^*
5. *Experiencia*: contrastar t^* , o sea, hallar un conjunto de datos e comparables con t^* e
6. *Traducción de e por e^** , por ejemplo, expresar las lecturas de las posiciones de planetas con coordenadas geocéntricas. e^*
7. *Comparar t^* con e^** y decidir si son epistémicamente equivalentes o no; si lo son, afirmar t^* , si no, negar t^* .
8. *Inferencia sobre h* : si se ha confirmado t^* , declarar que h tiene el apoyo de t ; si no, inferir que h queda debilitada por t .

El paso 3, o sea, la introducción de la nueva hipótesis “ $h \rightarrow t$ ” que nos permite contactar con la experiencia, puede no ser nada obvio: puede ser falso que t sea relevante para h o, por lo menos, que h sea suficiente para t . En cualquier caso, la nueva hipótesis “ $h \rightarrow t$ ” no es lo que se pone en tela de juicio cuando se contrasta h , sino que, muy al contrario, la contrastación se planea y realiza sobre la base de “ $h \rightarrow t$ ”. Pero puesto que se supone que esa hipótesis accesoria es una hipótesis científica, hay que hallar un soporte independiente de la misma: no sólo tiene que fundarse en el conocimiento previo o antecedente (paso 1), sino que, además, debe ser posible someterla a una contrastación empírica independiente. O sea, $h \rightarrow t$ debe implicar alguna otra proposición independiente, t' , que pueda contrastarse con otra técnica; si no, la situación no será mucho más sólida

que la de los *tests* proyectivos. Esta contrastación independiente aplicada a la hipótesis-puente " $h \rightarrow t$ " planteará nuevos problemas metodológicos, pero no nuevos problemas lógicos. Por tanto, podemos volver a nuestra cuestión inicial, la "consecución de conclusiones" a partir de los datos tomados para contrastar hipótesis científicas.

Empecemos por repasar lo que la lógica deductiva puede decir al respecto. La lógica contiene tres reglas de inferencia elementales que afectan a $h \rightarrow t$ y t . Primera: t , luego $h \rightarrow t$, siendo h una proposición cualquiera. Este esquema de inferencia no lleva a ninguna parte precisamente porque h es una proposición cualquiera. No sirve sino para recordar que, dado t , la lógica permite una infinidad de hipótesis que impliquen t , lo que quiere decir que no puede practicarse ninguna inferencia segura de consecuentes solos, t , a antecedentes, h . Segunda: h y $h \rightarrow t$, luego t (*modus ponens*). Este central esquema de inferencia es de suma importancia en la ciencia formal, en la cual es lícito afirmar *ex hypothesi* todo lo que esté exento de contradicción con tal de que prometa ser fecundo. También se presenta en la contrastación indirecta de las hipótesis factuales: así, en el caso de la fig. 15.4, si por alguna razón nos decidimos a afirmar que la hipótesis de nivel más alto, h , es verdadera, entonces podemos separar (obtener por *modus ponens*) h_2 , porque ya antes habíamos supuesto o demostrado que h implica h_2 . Pero el *modus ponens* carece de utilidad para la rama de la izquierda de la fig. 15.4, o sea, para la contrastación empírica de hipótesis, porque nuestro problema consiste en averiguar el valor veritativo de nuestra afirmación h sin más fundamento que el valor veritativo de un enunciado implicado por ella, lo cual, como se ha mostrado por la anterior regla de inferencia, es una indicación bastante pobre. Tercera: $\neg t$ y $h \rightarrow t$, luego $\neg h$ (*modus tollens*). Esta forma de argumentación (variante de la primera) es útil en todos los casos de inferencia científica, porque sirve para eliminar hipótesis falsas, en la medida al menos en que podemos negar categóricamente el consecuente con base en información empírica.

La conclusión es clara: la lógica deductiva, aunque es un poderoso instrumento para la explicitación de supuestos iniciales y la obtención de todas las consecuencias contrastables que aquéllos puedan implicar, es impotente para convalidar los supuestos iniciales mismos; sólo ayuda a mostrar cuáles de ellos son falsos. En resumen: en la medida en que hay proposiciones empíricas categóricamente afirmables, éstas pueden *refutar* hipótesis, pero no pueden refutarlas concluyentemente. La única indicación positiva que puede darnos la información empírica es que la hipótesis de que se trate *puede* no ser falsa. (Recuérdese el esquema 9 de la sec. 15.1.) Esto debe bastar para eliminar la creencia en que el progreso del conocimiento consiste en amontonar "hechos positivos" (datos) sin prestar atención a las falsedades, y que puede construirse la ciencia sobre los datos empíricos sin más. Pero ¿qué puede hacerse además de criticar? Esa pregunta tiene varias salidas. Una consiste en declarar que la búsqueda de la verdad en la ciencia carece de interés. Otra es proponer que, puesto que sólo la falsedad puede averiguarse de un modo concluyente sobre una base empírica, la base empírica es siempre insuficiente y debe complementarse con contrastaciones no-empíricas. Y una tercera posibilidad consiste en decir que, puesto que la lógica deductiva es insuficiente, necesitamos otra clase de lógica, la lógica inductiva, para establecer esquemas de inferencia no-deductiva. Echemos un vistazo a las tres propuestas.

Son varias las razones por las cuales se ha sostenido que la búsqueda de la verdad

factual carece de interés; he aquí algunas: (i) las limitaciones insuperables del hombre, (ii) la contingencia (falta de necesidad lógica) de las proposiciones experienciales, y (iii) la inutilidad de la verdad comparada con la eficacia práctica o hasta la credibilidad. No se negará, ciertamente, que el conocimiento humano es limitado; pero tampoco puede afirmarse que todos los límites del conocimiento humano sean *fijos*; al fin y al cabo, resulta que entre nuestras limitaciones tenemos que incluir la incapacidad de limitar esos límites con claridad y definitivamente. También es innegable que las proposiciones de experiencia no son lógicamente necesarias y que, por consiguiente, son *falibles*; pero de eso no se sigue que sean todas *igualmente* inútiles: es seguro que unas son más falsas que otras, y a menudo alcanzamos verdades aproximadas, o sea, proposiciones que son “prácticamente verdaderas”. Por último, el que las ideas funcionen *útilmente* o no y el que sean unánimemente creídas, o admitidas al menos por algunos especialistas, es del todo irrelevante para su verdad. Las ideas falsas pueden funcionar en la práctica, e ideas verdaderas pueden no hacerlo (sec. 11.1); y es frecuente que se mantengan hipótesis falsas porque se las crea verdaderas. En conclusión: esos argumentos no son válidos contra la búsqueda de la verdad objetiva.

La segunda propuesta consistía en considerar las contrastaciones empíricas como insuficientes, con la sugerencia consiguiente de intentar complementarlas con criterios no empíricos. Éste fue en realidad el punto de vista adoptado en la sec. 5.5, cuando se exigió que las hipótesis científicas fueran no sólo contrastables, sino también fundadas en parte del conocimiento. La idea de que hay que someter las hipótesis científicas a tales contrastaciones no-empíricas, además de a las empíricas, se debe a (i) la multiplicidad de hipótesis compatibles con cualquier conjunto dado de información empírica y a (ii) la dependencia de las contrastaciones empíricas respecto de hipótesis y teorías concurrentes. En la última sección se argüirá que para estimar las pretensiones de verdad de las ideas científicas se utiliza una entera batería de contrastaciones no-empíricas. Pero esas contrastaciones no-empíricas no pueden *establecer* hipótesis científicas, igual que tampoco las contrastaciones empíricas pueden convalidarlas concluyentemente: un gran número de contrastaciones con éxito, empíricas y no-empíricas, hace que nuestras suposiciones sean más verosímiles y constrictivas, pero no infalibles. La búsqueda de certeza definitiva, característica de la no-ciencia, se sustituye en la ciencia por la búsqueda de la verdad objetiva aproximada, pero perfectible.

La tercera propuesta que mencionamos consistía en desentenderse de la lógica deductiva y buscar la certeza por otra parte, en la lógica inductiva. Pero esto es una quimera: no hay hipótesis infalibles y, estrictamente hablando, todas las inferencias no-deductivas son falaces: no nos permiten concluir nada, pero son expedientes que nos permiten sospechar la verdad o la falsedad de afirmaciones. La verdadera tarea de la “lógica” no deductiva no tiene que consistir en consagrar falsedades, sino en estudiar los efectivos esquemas de la inferencia científica no deductiva que se presentan en el estadio de la contrastación, así como las condiciones de su rendimiento óptimo. Por ejemplo, en nuestro caso del sujeto mentalmente ausente, si hallamos que no reacciona al ruido, “inferimos” que es plausible suponer que está mentalmente ausente (caso de reducción fuerte). Pero nuestro sujeto puede estar simulando, de tal modo que habrá que disponer de otras contrastaciones más, como, por ejemplo, murmurar que acaba de llegar una carta

importantísima para él; y, si es posible, habrá que buscar y justificar teóricamente algún indicador objetivo (por ejemplo, fisiológico) de ese estado de ausencia mental. O bien la hipótesis en cuestión puede ser plausible en razón de anterior experiencia con el sujeto, la cual nos sugiera que suele estar ausente mentalmente; en este caso podemos basarnos en el supuesto de que probablemente no reaccionará a pequeños cambios del medio: $A \rightarrow \neg R$, y “ A ” es verosímil, luego “ $\neg R$ ” es plausible (caso de *modus ponens* débil). O también, por último, puede ser que estemos bastante seguros, aunque no totalmente, de que el sujeto está reaccionando al ruido, en cuyo caso inferimos que el sujeto está probablemente alerta: $A \rightarrow \neg R$, y “ R ”, es plausible, luego “ $\neg A$ ” es plausible (caso de *modus tollens* débil).

Pero ¿cuánta plausibilidad puede tener una suposición plausible, y cuánta plausibilidad puede tener, por su parte, la inferencia que da aquella conclusión? Ninguna de las existentes teorías de “lógica” inductiva da respuestas aceptables a esas preguntas: se trata aun hoy de problemas abiertos. Además, incluso se ha puesto en duda la mera legitimidad de cualquier intento de construir una “lógica” inductiva, por el hecho de que la inferencia no-deductiva es ilógica, carece de leyes estrictas; y el valor de una tal teoría —en el caso de que fuera posible— se ha puesto también en tela de juicio porque las hipótesis y las teorías no se construyen nunca inductivamente. El primer argumento parece ignorar la cuestión: la inferencia no-deductiva carece, ciertamente, de valor lógico, pero, en cambio, es epistémicamente imprescindible, y siempre será mejor que nos enfrentemos con el problema que plantea, en vez de ignorarlo pretendiendo que no se presenta en la ciencia. Tampoco el segundo argumento tiene mucho más peso, pues la inducción, por impotente que sea para la *construcción* de hipótesis y teorías, se utiliza en cambio sin duda en la comparación de sus consecuencias contrastables con los datos empíricos: así, por ejemplo, si todas las t contrastadas concuerdan intensamente con las e correspondientes, practicamos el salto inductivo (y, naturalmente, falible) a la “conclusión” según la cual la hipótesis que implica las t contrastables ha quedado satisfactoriamente confirmada; lo cual, hablando con estricto rigor, es una semi-verdad rayana en mentira. Dicho brevemente: la “lógica” no-deductiva resulta ser una legítima empresa relevante para la *contrastación empírica* de hipótesis y teorías, aunque es irrelevante para su *construcción*. Y la desgraciada circunstancia de que en ella no exista apenas una sólida disciplina es un reto, no una prueba de su imposibilidad: un reto que nos impone la construcción de una teoría *a posteriori* o factual de la inferencia plausible, abandonando la idea de obtener de la misma una teoría *a priori* que sería, consiguientemente, inaplicable.

Vamos a plantearnos a continuación algunos de los problemas con que se encuentra toda “lógica” no-deductiva.

Problemas

15.3.1. En la Edad Media, la persona acusada de algún crimen era sumida, por ejemplo, en agua profunda para contrastar la hipótesis de su culpabilidad. Si la persona sobrevivía, se la declaraba inocente o culpable de pacto con el diablo, según los casos; y también según los casos se la declaraba culpable o inocente si se hundía. Hoy día, esa prueba del agua se considera completamente

irrelevante para la hipótesis en cuestión, la de la culpabilidad de las personas. ¿Era irrelevante en el contexto de las creencias religiosas medievales? Obtener de ello alguna moraleja acerca del carácter contextual de la relevancia de la información empírica para las hipótesis, y sobre la contrastación independiente de toda hipótesis del tipo hipótesis-indicador.

15.3.2. Hasta tiempos muy recientes, algunas enfermedades (especialmente las psicosis) se consideraron como efectos —y, por lo tanto, pruebas— de posesión demoníaca. Por ello, las personas afectadas por tales enfermedades eran tratadas con exorcismos (operaciones para “arrojar los demonios”). Si los sujetos se curaban, se reforzaba la fe en aquella técnica. Si no se curaban, se declaraba que el exorcismo usado era insuficiente, pero no ineficaz. Explicitar las inferencias supuestas en el diagnóstico y en la prognosis. *Problema en lugar de ése*: Examinar la práctica china de la acupuntura, fundada también en la creencia en que la enfermedad consiste en o es efecto de malos espíritus presentes en el cuerpo.

15.3.3. Estudiar la relación síntoma-enfermedad. Mostrar cuáles son las relaciones ontológicas y lógicas, o sea, presentar la relación causa-efecto y la relación antecedente-consecuente. Y examinar el esquema de inferencia que utilizan los médicos al conjeturar causas: ¿es una inferencia concluyente? ¿Y es también arbitraria en el caso de apoyarse en la fisiología o la bioquímica?

15.3.4. ¿Cómo podríamos contrastar la hipótesis de que un determinado carácter biológico, por ejemplo, el que una planta tenga hojas suculentas, es resultado de adaptación? Tener en cuenta que, aunque podemos percibir el carácter mismo, en cambio el valor de adaptación que tenga es cosa inferida.

15.3.5. Considerar los siguientes enunciados: (i) “La bebida disminuye la fuerza de voluntad”. (ii) “La debilidad de carácter puede conducir a la bebida”. (iii) “La debilidad de carácter y la bebida se refuerzan recíprocamente”. ¿Prueban o ejemplifican esos enunciados las tesis de (i) el epifenomenismo, (ii) la prioridad del alma sobre el cuerpo, y (iii) la interacción entre la mente y el cuerpo?

15.3.6. Analizar la siguiente exposición de E. D. Adrian, *The Basis of Sensation*, Londres, Christophers, 1928, p. 15: “En todos los casos estudiados hasta el presente, siempre que ha habido alguna razón para suponer que un nervio estuviera en acción, se han detectado los cambios de potencial habituales (cuando las condiciones para registrarlos eran favorables).” ¿Qué debe hacerse cuando no se observan cambios de potencial (indirectamente)? ¿Rechazar la hipótesis o concluir que las condiciones de observación son desfavorables?

15.3.7. Tomar cualquier hipótesis científica y examinar sucesivamente los siguientes problemas suscitados por su contrastación: (i) el problema lógico de hallar las relaciones entre la hipótesis y sus evidencias posibles; (ii) el problema metodológico de proyectar procedimientos científicos para contrastar la hipótesis; (iii) el problema de estimar la evidencia, esto es, de estimar la hipótesis.

15.3.8. Según el apriorismo, los datos son deducibles de supuestos a priori. El empirismo, en cambio, sostiene que las hipótesis, si es que de verdad son necesarias, son inducibles de los datos. ¿Concuerda alguna de esas doctrinas con la efectiva práctica científica, o sea, son autosuficientes las hipótesis o los datos?

15.3.9. Examinar la difundida opinión de que las hipótesis pueden corregirse gradualmente hasta alcanzar principios completamente ciertos e inmutables. Cf. C. Wolff, *Preliminary Discourse on Philosophy in General*, 1728; traducción inglesa, Indianapolis y Nueva York, Bobbs-Merrill, 1963, §§ 126 y 127.

15.3.10. Según R. Carnap, a tenor de su influyente artículo “Testability and Meaning”, *Philosophy of Science*, 3, 419, 1936, y 4, 1, 1937, la forma lógica de un enunciado que exprese la condición de contrastación y de verdad de una hipótesis cuyo contenido sea la atribución de una propiedad inobservable, *P*, a un objeto, *x*, es una forma del siguiente tenor: Si *x* se somete a la

condición de contrastación C , entonces: si x presenta el comportamiento B , entonces x tiene la propiedad P . Brevemente: $Cx \rightarrow (Bx \rightarrow Px)$. Por el principio de exportación, esta fórmula equivale a: $(Cx \& Bx) \rightarrow Px$. Si ésa fuera la implicación realmente supuesta por la inferencia científica, podríamos establecer concluyentemente todas nuestras hipótesis sobre la base de su contrastación empírica, puesto que el antecedente del condicional no contiene más que conceptos observacionales. ¿Es eso posible? Si no lo es, ¿dónde está el error de ese análisis lógico de las contrastaciones empíricas? ¿Qué decir del siguiente esquema: $Px \rightarrow (Cx \rightarrow Bx)$? ¿Permite obtener inferencias concluyentes? Por último: esos condicionales que relacionan inobservables con observables, ¿pueden postularse libremente o están controlados teóricamente y empíricamente? *Problema en lugar de éste*: Cuanto más fuerte es una hipótesis, tanto más explicará y tantas más ocasiones tendrá de chocar con la experiencia. Pero la experiencia autoriza a pasar a las “conclusiones” más débiles. ¿Por qué cuerno del dilema nos decidiremos? ¿O podemos eludir la decisión?

15.4. CONFIRMACIÓN Y REFUTACIÓN

Al cruzarnos con una rubia, ¿pensamos que hemos confirmado la hipótesis “Todos los cuervos son negros”? Negaremos eso intuitivamente: nuestra observación de la rubia es *irrelevante* para la hipótesis dicha y, por tanto, aquella observación no cuenta ni como confirmadora ni como refutadora de la hipótesis. Sin embargo, el lógico podría argüir lo siguiente: “Todos los cuervos son negros” es lógicamente (sintácticamente) equivalente a “Una cosa es un no-cuervo o es negra.” (Y, efectivamente, “ $(x) [C(x) \rightarrow N(x)] \leftrightarrow (x) [\neg C(x) \vee N(x)]$ ” es lógicamente verdadera.) Y como una rubia no es un cuervo, su observación confirma que los cuervos son negros. Esto sirva de ejemplificación de una de las paradojas de la confirmación (C. G. Hempel).

Si el lógico lleva razón, la técnica de ejemplificación no servirá para nada, puesto que casi todo podría considerarse evidencia de cualquier cosa. Este hecho mueve a los refutabilistas (por ejemplo, y señaladamente, K. R. Popper) a insistir en que la búsqueda de confirmación (apoyo inductivo) no tiene interés alguno. Si se busca exclusivamente refutaciones, no se encuentra uno con ninguna paradoja de la confirmación, porque lo único que se intenta entonces es hallar cuervos *no negros*, pasando por alto los negros ya conocidos. O sea, si el lógico tiene razón en aquel análisis, entonces también la tiene el refutabilista al afirmar que lo único de relieve son las desconfirmaciones o refutaciones intentadas y fracasadas. Pero, en realidad, fracasar en un intento de falsar una hipótesis es lo mismo que tener éxito en un intento de confirmarla, con la condición de que lo único considerado sea evidencia *relevante*. Consiguientemente, si el lógico tiene razón, tanto el confirmacionista (inductivista) cuanto el refutabilista (reductivista) están en un aprieto, y tendremos que concluir que la contrastación empírica carece de valor. Pero si tal es el caso, entonces cualquier hipótesis es tan buena o tan mala como cualquier otra y, en particular, la pseudociencia vale tanto como la ciencia seria.

Puesto que, como es obvio, rechazamos esa conclusión, tiene que ser falsa alguna de las premisas usadas en esa argumentación. Y la culpable es, desde luego, la suposición tácita de que todo dato es relevante para cualquier hipótesis, o, lo que es lo mismo, el supuesto tácito de que los datos pueden tomarse arbitrariamente de cualquier universo

del discurso. Ese supuesto es obviamente falso: al intentar contrastar “Todos los cuervos son negros”, lo que hacemos sin más tácitamente es *fixar el universo del discurso* restringiéndolo a las aves: no estudiaremos cualquier cosa que no sea un ave. Dicho de otro modo: lo que hacemos *no* es atender con abierta y dispersa atención a todo lo que nos caiga bajo la vista, sino concentrar la atención, seleccionar una clase de datos, restringir el ámbito de nuestra variable individual x al conjunto de las aves. Esta limitación del dominio de los individuos disuelve la paradoja y recoge la práctica usual, usual en la ciencia y en la vida cotidiana, de distinguir la evidencia relevante de la que no lo es.

Esa restricción del dominio de individuos, o universo del discurso, se indica explícitamente en la siguiente simbolización del condicional general “ $(x)_c N(x)$ ”, que se leerá: ‘todo x de C tiene la propiedad N ’. Dicha indicación del dominio de los individuos no se presenta en la simbolización corriente del condicional general, que es “ $(x) [C(x) \rightarrow N(x)]$ ”, lo cual da lugar a la paradoja de la confirmación. Como esta última fórmula es equivalente a $(x) [-N(x) \rightarrow -C(x)]$, un aficionado ingenuo que no sepa nada de los cuervos –ni de la ciencia– puede sentirse obligado a estudiar cuidadosamente todos los objetos no negros que encuentre –por ejemplo, todas las rubias con que tropiece por la calle–, para convencerse de que no son cuervos, en vez de limitarse a estudiar éstos. Para evitarle el trabajo de esa caza de rubias, tendremos que recordarle que el contexto de su hipótesis es la ornitología. O sea, en vez de agitarnos sin norte con nociones y enunciados dispersos, tenemos que colocarlos en seguida en su contexto propio, porque eso es lo único que nos permitirá precisar cuál es el dominio de individuos relevante.

En resumen, pues, para que un dato sea una evidencia en favor o en contra de una hipótesis, tiene que empezar por ser relevante para ella. En el caso de una generalización empírica de nivel bajo, g , podemos decir que la información empírica, b , es relevante para g si y sólo si g y e tienen el mismo referente; e será irrelevante para g si y sólo si no es relevante para g . Si el individuo c resulta ser cuervo y negro, o sea, si $C(c) \& N(c)$, entonces c confirma la triste generalización, aunque no la ejemplifica, porque la anterior conjunción es más bien un ejemplo de la generalización existencial “ $(\exists x) [C(x) \& N(x)]$ ”, la cual no está implicada por la correspondiente generalización universal. Si c es un cuervo no negro, o sea, si $C(x) \& -N(x)$, entonces desconfirma la generalización. Y si c no es un cuervo, sea negro ($-C(x) \& N(x)$) o no sea negro ($-C(x) \& -N(x)$), la cosa no cambia para la generalización: en cualquier caso e será irrelevante para ella. En resumen, el dato e será de una de las clases siguientes:

$C(c) \& N(c)$	confirmadora	} (evidencia) relevante
$C(c) \& -N(c)$	refutadora	
$-C(c) \& N(c)$	} (no evidencia) irrelevante	
$-C(c) \& -N(c)$		

Dicho brevemente: por el procedimiento de precisar el contexto y, por tanto, el referente de la generalización que se está contrastando, disolvemos la paradoja y conservamos la significación usual de ‘caso confirmador’. En cambio, si separamos la generalización de su contexto y jugamos con transformaciones puramente sintácticas, caemos en las dificultades y paradojas vistas.

El anterior criterio de relevancia es inaplicable a las hipótesis científicas propiamente dichas, porque los referentes de éstas son inobservables y, por tanto, diferentes de los de las evidencias en favor o en contra de hipótesis. Pero dichos enunciados, si es que son contrastables en algún sentido, tienen que estar lógicamente relacionados con proposiciones susceptibles de confrontación de un tipo u otro con evidencia empírica. O sea, la hipótesis misma no tendrá referente observacional ni ejemplo no observacional, pero, si es contrastable, será un eslabón de una larga cadena cuyo último miembro tiene que compararse de algún modo con alguna información empírica. Al igual que el primero, el último eslabón se refiere a un objeto idealizado, como un gas perfecto o una economía puramente competitiva: la deducción no tiene por qué llevarnos necesariamente más cerca de la experiencia. Para salvar el hiato entre el último eslabón y los datos tenemos que introducir una hipótesis subsidiaria que vincule el referente con la evidencia, lo cual constituye el paso 3 del proceso esbozado en la sección anterior.

Ahora bien, como se ha indicado en las secciones 5.2, 10.4 y 15.3, la hipótesis misma, junto con el conocimiento anterior, sugerirá la clase de evidencia que le es relevante. Por ejemplo, la hipótesis de que el pensamiento es un proceso cerebral nos llevará al estudio de los procesos cerebrales que acompañan al pensamiento abstracto, en busca de evidencia relevante. Pero la descripción parece circular: si se permite que una hipótesis contraste a sus propios confirmadores, entonces la contrastación no podrá ser más imparcial que una sentencia dictada por el defensor del acusado. (A esto se llamó en el problema 8.4.10 paradoja de la convalidación empírica.) Si *e* fuera todo el apoyo que *h* pudiera obtener, entonces la convalidación empírica sería efectivamente circular y, por tanto, inútil. Pero hemos superado ya la idea de que contrastar *h* consista simplemente en hallar un conjunto de *e* y colocarlos enfrente de *h* sin más base que la afirmación del científico según la cual *e* es efectivamente una pieza de evidencia relevante para *h*. Ya nos hemos acostumbrado a la idea de los controles múltiples, empíricos y teóricos: (i) se exige que la hipótesis contrastada consiga el apoyo ulterior de *otras hipótesis* lógicamente relacionadas con ella, como se estipuló en la sec. 5.5 y volverá a argüirse en la sec. 15.6; (ii) las hipótesis contrastadoras supuestas en la contrastación de una hipótesis de nivel alto tienen que ser ellas mismas *independientemente contrastadas*, empírica y teóricamente (cf. secs. 14.5 y 15.3). En resumen: la teorificación y la contrastación cruzada e independiente compensan la debilidad de cada contrastación tomada por separado, la cual es por sí misma, o puede hacerse que sea, circular. Una contrastación empírica es efectiva en la medida en la cual no es ni aislada ni puramente empírica.

En cualquier caso, todo proceso aislado de búsqueda de datos relevantes (evidencia) en favor o en contra de una hipótesis científica puede resumirse en un diagrama como el de la fig. 15.6. En él, *A* representa el cuerpo del conocimiento previo, o antecedente, utilizado en la elaboración de las consecuencias de *h* y en la elaboración de las hipótesis contrastadoras y el procedimiento de contrastación. La hipótesis contrastadora, o conjetura causa-síntoma, es una implicación de la forma " $t_n \rightarrow t^*$ ", siendo t_n una de las consecuencias de nivel bajo de *h* y *A*, y *t* el enunciado que es susceptible de comparación con *e* por medio de t^* y de e^* (cf. la sección anterior). Aceptaremos *e* como *relevante* para *h* no porque tengan el mismo referente, pues no pueden tenerlo ya por la mera definición del concepto "hipótesis", sino cuando *h* y *A* impliquen t_n , el cual, a su vez, en conjunción

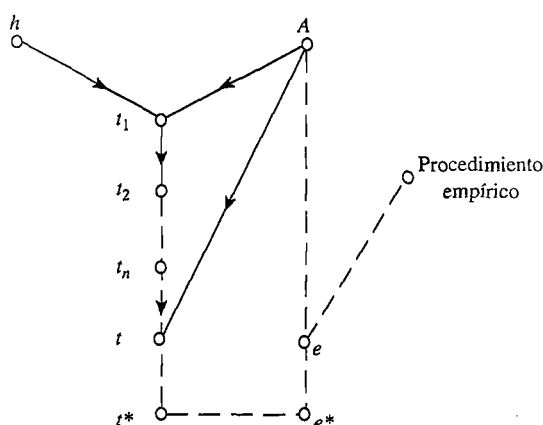


FIGURA 15.6. La retorcida contrastación de las hipótesis científicas: sólo los últimos eslabones, t_n , de una cadena de implicaciones se contrastan empíricamente. Esto exige la introducción de más condicionales $t_n \rightarrow t$, sobre la base del conocimiento anterior A , y tales que t pueda confrontarse con e después de una traducción adecuada.

con A , lleve a $t_n \rightarrow t$, de tal modo que e (resultado de procedimientos empíricos aplicados con la ayuda de A), una vez traducido por e^* , sea relevante para t^* , que es por su parte la traducción de t a un lenguaje común semi-empírico y semi-teorético (cf. secs. 8.1 y 8.4). De este modo, el concepto de relevancia de un dato para una hipótesis subsume el concepto de relevancia directa introducido para las generalizaciones empíricas. Si, además, la traducción semi-empírica t^* es epistémicamente equivalente a la traducción semi-empírica e^* (cf. sec. 15.2), decimos que e confirma h . Y si e^* y t^* son epistémicamente no-equivalentes, decimos que e desconfirma h . Tenemos, en resumen, las definiciones siguientes:

e confirma $h =_{df} [\{A, h\} \vdash t_n] \ \& \ [\{t_n, A\} \vdash t_n \rightarrow t] \ \& \ (t^* \text{ traduce } t \ \& \ e^* \text{ traduce } e) \ \& \ (e^* \text{ es relevante para } t^*) \ \& \ (t^* \text{ Eq } e^*).$

e desconfirma $h =_{df} [\{A, h\} \vdash t_n] \ \& \ [\{t_n, A\} \vdash t_n] \ \& \ (t^* \text{ traduce } t \ \& \ e^* \text{ traduce } e) \ \& \ (e^* \text{ es relevante para } t^*) \ \& \ \neg(t^* \text{ Eq } e^*).$

¿Cuál es el *peso de la evidencia*, o sea, qué importancia tienen las confirmaciones y desconfirmaciones? Es claro que eso depende del grado de generalidad y sistematicidad de la hipótesis. Una hipótesis singular, como "Hay petróleo a 1 000 m por debajo de la superficie de este lugar", puede contrastarse de una vez para siempre con una sola información empírica: un sondeo refutará o confirmará la hipótesis concluyentemente. Dicho de otro modo: la evidencia confirmadora y la desconfirmadora son igualmente estimables en la contrastación empírica de hipótesis singulares cualitativas y no sistemáticas (aisladas). Pero las hipótesis que más interesan en la ciencia son *generales y sistémicas*

en alguna medida: se refieren a conjuntos de hechos de una clase determinada y están en relación con otras hipótesis (cf. sec. 5.7). Consiguientemente, hay que contrastarlas confrontándolas con (i) enteros conjuntos de datos de una determinada clase y (ii) enteros cuerpos de hipótesis relacionados con ellas. Esto último es una contrastación de consistencia externa (cf. sec. 7.6), una operación puramente conceptual en la medida en que resulta practicable. Pero, desde luego, las hipótesis que controlan la que está contrastándose tienen que contrastarse a su vez teóricamente y empíricamente, de tal modo que en cualquier caso tenemos que llegar hasta contrastaciones empíricas: no hay verdades fácticas eternas que puedan servir como criterios absolutos. Concentremos, pues, la atención sobre el problema del *peso de la evidencia empírica* en favor o en contra de una hipótesis científica. Este concepto puede cuantificarse de varias maneras. Nos atendremos a la más simple.

Sean $\{t_i \mid 1 \leq i \leq m\}$ el conjunto de las consecuencias contrastables de h derivadas y contrastadas hasta el momento, y $E = \{e_i \mid 1 \leq i \leq m\}$ el conjunto de informes empíricos relevantes para h , o sea, comparables, directa o indirectamente, con los t_i . Supongamos que se han realizado N contrastaciones, $n \leq N$ de las cuales son favorables a h , y el resto, $N - n$, desfavorables a h . Reordenando los informes empíricos e_i , de tal modo que los n primeros de ellos sean favorables y el resto desfavorables, tenemos: t_i Eq e_i para $i = 1, 2, \dots, n \leq N$ en el caso de las generalizaciones empíricas. En el caso de las hipótesis propiamente dichas sustituimos t_i por t_i^* y e_i por e_i^* . El grado de *confirmación empírica* de h respecto de la información empírica E puede definirse así:

$$C(h \mid E) = \frac{n}{N} \quad [15.4]$$

Si $n = 0$, o sea, si todos los datos empíricos obtenidos hasta el momento son discordantes con los t_i implicados por h , entonces $C(h \mid E) = 0$. Si todas las contrastaciones practicadas hasta el momento concuerdan con los t_i correspondientes (o con sus traducciones t_i^*), entonces $C(h \mid E) = 1$. En todos los demás casos, $C(h \mid E)$ se encontrará entre 0 y 1. No hará falta decir que al calcular $C(h \mid E)$ tomaremos en cuenta la *evidencia disponible total*; en particular, no suprimiremos evidencia desfavorable a menos que quede descalificada por el conocimiento previo, como en el caso de los datos experimentales que queden demasiado lejos del valor más probable.

El paso siguiente será construir un *cálculo* de los grados de confirmación, o sea, una teoría que nos permita computar el grado de confirmación de hipótesis complejas, como $h_1 \vee h_2$ o $h_1 \& h_2$, dados los grados de confirmación de cada hipótesis h_1, h_2 . No existe por el momento tal teoría. Es verdad que, de acuerdo con una difundida opinión elaborada por R. Carnap, ese cálculo sería la teoría de la probabilidad; dicho de otro modo, la lógica de la confirmación sería un modelo de la teoría matemática de la probabilidad. Pero eso es un error: el concepto de grado de confirmación no satisface el axioma central del cálculo elemental de probabilidades, o sea, la fórmula [7.25] de la sec. 7.5. Efectivamente, la probabilidad de cualquier tautología es máxima ($= 1$), mientras que el grado de confirmación de la misma debería ser cero, puesto que la experiencia es del todo irrelevante para la verdad lógica: lejos de confirmar las identidades lógicas mediante contrastaciones

empíricas, lo que hacemos es planear las contrastaciones empíricas con la ayuda de la lógica. Por ejemplo, mientras que $P(h \vee \neg h) = 1$ (como se desprende fácilmente de [7.25] y [7.26]), deberíamos tener $C(h \vee \neg h | E) = 0$. Análogamente, mientras que $P(h \& \neg h) = 0$ (como puede verse usando el anterior resultado, [7.26] y el teorema de De Morgan), deberíamos tener $C(h \& \neg h | E) \neq 0$. En todo caso, una teoría de la confirmación empírica que atribuya grados de confirmación idénticos con las probabilidades, no es una teoría de la confirmación *empírica*.

Pasando por alto esas dificultades, ¿qué nos dicen los números obtenidos mediante [15.4]? Una gran mayoría de resultados favorables de contrastaciones se cuantifica como alto grado de confirmación, mientras que una fracción muy pequeña de resultados favorables se interpreta como bajo grado de confirmación. Pero un alto grado de confirmación no es valioso más que si el conjunto de los datos empíricos relevantes para la hipótesis se ha tomado *al azar* (sin tendenciosidad) y es *numeroso*. La condición de casualidad puede sustituirse por la condición, mucho más constrictiva, de tomar deliberadamente los casos menos probables o de más riesgo (por ejemplo, los intervalos menos probables de una magnitud, según indica la Regla 1 de la sec. 10.4; si se hace así, se obtiene un límite mínimo o inferior de grado de confirmación. ¿Qué decir de la condición de numerosidad? ¿Qué tamaño debe tener la muestra de datos? ¿Bastarán 100 casos, o necesitaremos 100 veces más? Es obvio que ningún número de casos, por grande que sea, será *suficiente* para declarar que la hipótesis es verdadera, aunque el grado de confirmación resulte ser la unidad; pero será *necesario* un cierto mínimo para concluir que la hipótesis es verosímil, o sea, para atribuir algún valor al grado de confirmación. ¿Cuál es ese mínimo y quién ha de estipularlo? No hay número fijo ni modo de establecerlo, salvo por convención, y tampoco tiene interés el intentar establecer una regla universal al respecto, porque esa regla no daría ninguna garantía y porque el mínimo se determina por la naturaleza del caso. En realidad, el estado de la ciencia determina un límite inferior del número de casos que se consideran necesarios para inferir algo acerca del valor veritativo de una hipótesis sobre la base de dichos casos. Así, por ejemplo, en los primeros días de la física atómica y nuclear, media docena de datos solían bastar para animar o desanimar el ulterior estudio de una hipótesis, y eso que cada uno de esos datos podía estar afectado por un error de hasta el 30%, mientras que hoy día cien datos con un error de 0.1% son por lo común insuficientes en ese mismo campo. Esta dependencia de N , y, por tanto, de $C(h | E)$, respecto de la naturaleza del caso, dado el estado del conocimiento científico, es una razón más para no considerar la teoría de la inferencia científica como una empresa formal a la par con la lógica deductiva.

En cualquier caso, cuando se atribuye a una hipótesis un alto grado de confirmación sobre la base de un “gran” número de contrastaciones sometidas a las condiciones de casualidad o de dureza extrema, puede decirse que esa hipótesis disfruta *pro tempore* de un *apoyo inductivo fuerte*; si ése no es el caso, se dice que la hipótesis tiene un *apoyo inductivo débil* o que carece de todo sostén. Rara vez calculan los científicos valores numéricos exactos del grado de confirmación y, cuando los indican, no los dan con valor permanente. Tiene poco interés el calcular esos valores y ello por las razones siguientes. En primer lugar, la razón n/N de los casos favorables al número total de casos no tiene límite en sentido matemático: es una frecuencia empíricamente hallada que fluctúa sin

sujeción a *ninguna ley*. (La teoría de la inducción de H. Reichenbach se aplica al caso de que exista tal límite. Si una secuencia de frecuencias relativas tiene límite, entonces el último miembro empíricamente hallado de la secuencia puede tomarse correctamente como la mejor estimación del límite desconocido, pero existente. Mas, puesto que el supuesto de la existencia de ese límite carece de fundamento, la teoría entera pierde toda solidez.) En segundo lugar, la fórmula [15.4] no recoge el grado de finura de la técnica empírica que lleve a los datos *E*, y aún menos la fuerza lógica y el fundamento de la hipótesis, todos los cuales son importantes indicadores de verosimilitud. En tercer lugar, los científicos no desperdician la vida contrastando repetidamente las mismas hipótesis: muy frecuentemente las sustituyen por otras que impliquen consecuencias total o parcialmente diferentes y reclamen, por tanto, diferente evidencia empírica. (Ésta es una de las razones por las cuales no es rentable el acumular evidencia empírica no digerible por alguna teoría respetable; esa evidencia puede hacerse anacrónica. Algunos objetivos y, sobre todo, estructuras objetivas, son más permanentes que nuestras teorías acerca de ellos; pero los datos empíricos son tan mortales como las ideas para las cuales son relevantes y por medio de las cuales se producen e interpretan.) En cuarto lugar, un alto grado de confirmación empírica, o sea, un apoyo inductivo alto, no es más que *una* entre varias virtudes que exigimos tenga una hipótesis científica antes de aceptarla: otras de esas virtudes son la variedad de la evidencia y la concordancia de la evidencia y la hipótesis con teorías fundamentales.

Hemos hablado del *apoyo inductivo* de que gozan las hipótesis, sin adherirnos al *inductivismo*, la doctrina según la cual las hipótesis se construyen y se justifican por inducción de primera clase o primer tipo exclusivamente. Atribuimos un papel a la inducción en la estimación del apoyo *empírico* con que cuentan las hipótesis, no en la elaboración ni en la justificación de las mismas. No construimos hipótesis, ni mucho menos teorías, mediante la generalización de datos observacionales, ya por el hecho de que las hipótesis propiamente dichas no refieren a nada observable. Y tampoco justificamos o fundamentamos una hipótesis diciendo simplemente que tiene un apoyo inductivo fuerte: tiene que haber algún otro fundamento para elaborar y seguir estudiando una hipótesis: alguna teoría tiene que sugerir por lo menos la posibilidad de la hipótesis. La inducción aparece cuando *resumimos* los resultados de la contrastación empírica de una hipótesis en un enunciado como “La evidencia disponible (no) da un apoyo fuerte (débil) a nuestra hipótesis”. Éste es el principal papel de la inducción en la ciencia: la inducción no es un *método*, sino un *acto*, y un acto realizado en la fase empírica de la contrastación de hipótesis. Decir que una hipótesis goza de un apoyo inductivo fuerte no quiere decir que la hipótesis *implique*, cubra o subsuma un amplio cuerpo de evidencia, sino que el conjunto de sus consecuencias contrastables coincide razonablemente con el conjunto de los datos empíricos relevantes. (Recuérdese que un enunciado universal no implica la correspondiente generalización existencial, y que ésta no implica ningún enunciado singular. Por ejemplo, $(x) [C(x) \rightarrow N(x)] \nrightarrow (\exists x) [C(x) \& N(x)]$, y $C(c) \& N(c) \rightarrow (\exists x) [C(x) \& N(x)]$, pero no a la inversa.) Ni siquiera las generalizaciones empíricas implican datos, y aún menos implican los datos generalizaciones empíricas.

De acuerdo con el inductivismo —en la versión representada por Carnap y Reichenbach— debemos intentar *maximalizar* el grado de confirmación de nuestras hipótesis; aún más:

eso es según dicha doctrina todo lo que podemos hacer, y no es poco. Debemos objetar a eso que basta manipular un poco la hipótesis o la experiencia para conseguir un alto grado de confirmación. Cualquiera de los trucos siguientes nos permite alcanzar prácticamente el grado de confirmación que queramos: (i) reinterpretar como favorable la evidencia desfavorable mediante la introducción de hipótesis *ad hoc*; (ii) reformular la hipótesis de un modo laxo (semánticamente débil) de tal modo que recoja casi toda evidencia relevante; (iii) pasar por alto (ocultar) la evidencia desfavorable, por ejemplo, seleccionando los datos; (iv) someter la hipótesis a contrastaciones débiles. Si todo lo que podemos hacer es aumentar el grado de confirmación de nuestra hipótesis, entonces no podemos hacer nada para dejarla establecida, porque con cualquiera de esos trucos poco escrupulosos puede conseguirse un valor alto de $C(h | E)$. Dicho de otro modo: un valor alto del grado de confirmación definido por [15.4] tiene por sí mismo escasa importancia, puesto que la función $C(h | E)$ no depende ni de la contrastabilidad de la hipótesis ni de la dureza (exactitud) de las técnicas de contrastación. A la vista de esas objeciones, podemos preguntarnos por qué se considera tan frecuentemente que un grado de confirmación alto es un desideratum absoluto. Una explicación posible de ese hecho es que los inductivistas no están pensando nunca en hipótesis propiamente dichas, sino más bien en enunciados de resumen de información, del tipo de "Todos los cuervos son negros".

Estas generalizaciones pueden interpretarse como conjunciones de proposiciones observacionales singulares, aunque también puede objetarse que esa interpretación es demasiado restrictiva. En todo caso, si se acepta esa interpretación, el único modo de contrastar empíricamente la conjunción es someter cada elemento de la misma a un examen empírico directo, o tomar grandes muestras al azar de la población total. Si todos los enunciados científicos fueran del tipo corvino, el progreso del conocimiento consistiría en la mera acumulación de evidencias empíricas, la cual es siempre "positiva" y directamente verificable. Pero como las hipótesis científicas no son de la clase manejada por la "lógica" inductiva, ésta es irrelevante para la ciencia.

Los deductivistas –especialmente Popper– añadirían sin duda a esas objeciones la siguiente consideración. Primero: una sola evidencia desfavorable, si se ha podido establecer más allá de toda duda práctica razonable, es suficiente para arruinar una hipótesis general que haya recibido 99 confirmaciones, o sea, que un montón de casos confirmadores carece de peso ante un solo caso refutador; dicho brevemente: un valor $C(h | E) = 0.99$, lejos de ser de mucho peso, lo que muestra es que h es falsa. Segundo: de la confirmación de cierto número de consecuencias directamente contrastables de una hipótesis no se sigue lógicamente que la hipótesis misma sea verdadera: afirmar esto es cometer una falacia lógica (reducción). Tercero: los casos favorables hallados en una investigación empírica pueden resultar constitutivos de una muestra no representativa. Aún puede haber una reserva infinita de casos refutadores. En efecto, las consecuencias directamente contrastables que se han derivado hasta el momento son en última instancia una muestra infinita de un conjunto potencialmente infinito (en el caso de las hipótesis universales no restringidas), y no hay razón que nos permita estar seguros de que es una muestra correcta (representativa): ¿qué es un momento de placer comparado con la posible eternidad del infierno? El deductivista concluirá, pues, que un alto grado de confirmación no es sólo de escasa importancia, sino completamente inútil, y que todo lo que podemos desear es

que nuestras hipótesis no queden refutadas por contrastaciones planeadas precisamente para refutarlas.

La primera argumentación es válida si se supone previamente que la *verdad parcial* carece de valor. Pero la argumentación carece de atractivo para los que creen que la *verdad parcial* es *todo* lo que podemos obtener: para éstos, una hipótesis con alto grado de confirmación, con un grado de confirmación ligeramente inferior a la unidad, sugiere que en su tesis *puede* haber un grano de verdad; además, estimulará la búsqueda de una hipótesis más verdadera, tal vez no demasiado distante de la anterior conjetura. La segunda argumentación es impecable, y lo mismo puede decirse de la tercera. Pero todo lo que prueban es que un grado alto de confirmación no *garantiza* nuestra afirmación de un alto grado de verdad, de probabilidad o de credibilidad. Lo que muestran las argumentaciones del deductivista es que el inductivista se equivoca al pensar que está tanto más seguro cuanto más alto es el grado de confirmación de sus hipótesis: la primera serie de observaciones que se practique puede ser desfavorable hasta el punto de arruinar totalmente la hipótesis, como tantas veces ha ocurrido en la historia de la ciencia. (Recuérdese, en efecto, que la variación de $C(h | E)$ con n y N no obedece a ninguna ley.) Esas argumentaciones no prueban que un alto grado de confirmación carezca totalmente de valor; después de todo, un supuesto bien confirmado es una hipótesis que, además de ser contrastable, ha superado contrastaciones duras. Y una contrastación se considerará dura, y por tanto estimable, (i) si afecta a una hipótesis sensible a cambios empíricamente controlables, (ii) si se ha proyectado a base de teorías previamente corroboradas (aunque falibles) y de técnicas previamente puestas a prueba, y (iii) si se han cribado los datos y las experiencias. No basta con que una hipótesis no haya sido refutada: el fallo en la tarea de refutar un enunciado factual puede deberse a laxitud del procedimiento de contrastación, o a dificultades técnicas, o incluso a falta de interés por parte del experimentador o los experimentadores. Hace falta evidencia positiva, no mera falta de evidencia negativa, así como algún fundamento, alguna concordancia con teorías fundamentales.

A la luz de lo que precede, está claro que los inductivistas exageran el valor de la confirmación empírica y que los deductivistas lo subestiman, confundidos unos y otros por el presupuesto erróneo de que las contrastaciones empíricas, que son necesarias, son además las únicas contrastaciones posibles y por añadidura concluyentes. La tabla 15.1 resume las tres posiciones en discusión:

TABLA 15.1. EL VALOR DE LOS DATOS EN LA CIENCIA

Valor de los datos en la creación de h	Valor de los datos en la contrastación de h
<i>Confirmacionismo</i> (p.ej., Carnap)	
Como todas las hipótesis científicas son generalizaciones inductivas, los datos empíricos son decisivos en su formación.	Como las contrastaciones empíricas son las únicas contrastaciones posibles, una gran mayoría de casos favorables dejará establecida una hipótesis.

(continúa)

Tabla 15.1 (continuación)

Valor de los datos en la creación de <i>h</i>	Valor de los datos en la contrastación de <i>h</i>
<i>Falsacionismo</i> (p.ej., Popper)	
Como todas las hipótesis científicas son transempíricas y universales, los datos no desempeñan papel alguno en su origen, por eficaces que sean psicológicamente.	Como las contrastaciones empíricas son las únicas contrastaciones posibles y la única inferencia válida es la deductiva, los datos son decisivos si son desfavorables, e inútiles si son favorables.
<i>Procedimiento científico</i>	
Los datos (<i>i</i>) son ocasiones del descubrimiento de algunos problemas y (<i>ii</i>) tienen un papel instrumental en la formación de las generalizaciones empíricas, de máxima importancia en la protociencia (primeros estudios de la ciencia). En cuanto a las hipótesis propiamente dichas, no pueden ni sugerirlas.	Como las contrastaciones empíricas son una parte de una compleja batería de contrastaciones, no son decisivos, aunque sí significativos: (<i>i</i>) si son favorables, sugieren cosas, aunque no concluyentemente; (<i>ii</i>) si son desfavorables, tienen aún más importancia, pero no por eso son concluyentes, pues la contrastación puede ser errada.

Problemas

15.4.1. ¿Consiste la confirmación de una hipótesis en la posibilidad de interpretar (explicar) *ex post facto* con su ayuda un conjunto de hechos? *Problema en lugar de ése*: ¿Computan normalmente los científicos los grados de confirmación? ¿Intentan reforzarlos mediante una constante acumulación de evidencia? ¿Consiste todo progreso del conocimiento en aumentar el grado de confirmación de un conjunto de hipótesis?

15.4.2. H. Bondi, en *Cosmology*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1960, p. 143, indica que uno de los méritos de la hipótesis de la creación continuada de materia a partir de la nada es que no hay ninguna evidencia observacional en conflicto con ella. ¿Basta esa supuesta falta de evidencia desfavorable para sostener la conjetura? *Problema en lugar de ése*: W. F. G. Swann, en "Nature and the Mind of Man", *Journal of the Franklin Institute*, 261, 591, 1956, presenta una teoría en broma cuyos axiomas contienen conceptos inescrutables que no se presentan en los teoremas. Discutir la pretensión de Swann de que todo lo que confirme los teoremas confirmará los axiomas correspondientes. Recordar las condiciones de homogeneidad semántica y cierre semántico (cf. sec. 7.2.).

15.4.3. Ninguna hipótesis está nunca *verificada*, puesto que todo lo que puede contrastarse empíricamente es alguna consecuencia lógica de la misma, y la verificación de ésta no autoriza a afirmar las correspondientes premisas. Por otra parte, las hipótesis pueden refutarse por *modus tollens*, con la condición de que las evidencias empíricas se den sin tomarlas. Pregunta 1: ¿Es entonces inútil la confirmación? Pregunta 2: Puesto que ninguna hipótesis puede verificarse concluyentemente, ¿debemos sustituir la búsqueda de la verdad por la búsqueda de probabilización (aumento de la probabilidad de las hipótesis)? (Sobre la probabilidad de las hipótesis cf. sec. 10.4.)

Pregunta 3: ¿Constituye toda negación de un conjunto de hipótesis refutadas (como “No hay electrones con gusano”) conocimiento científico? ¿Y es consiguientemente la refutación un método de obtención de verdad positiva, no de eliminación de falsedad positiva?

15.4.4. ¿Hay refutaciones empíricas concluyentes? En particular, ¿basta en todo caso una evidencia desfavorable para destruir una hipótesis, o es legítimo en algunos casos apelar a hipótesis *ad hoc* para salvar la hipótesis afectada, como, por ejemplo, la hipótesis *ad hoc* de que la observación se practicó mal, o se interpretó mal, o la de que la causa de la anomalía ha sido una perturbación externa por el momento desconocida?

15.4.5. ¿Hay que practicar contrastaciones duras con la intención de *refutar* una hipótesis? Tener en cuenta que, desde el punto de vista histórico, uno de los pocos casos conocidos de científicos que han intentado refutar, más que contrastar, una hipótesis es el de R. A. Millikan, el cual gastó diez años (1906-1916) en el intento de destruir la hipótesis einsteiniana del fotón, formulada en 1905 (“hipótesis audaz, por no decir absurda”). Discutir la justificación de las contrastaciones *imparciales*, las cuales no intentan confirmar ni refutar hipótesis, por parcial o tendencioso que pueda ser el científico particular. Intentar especificar las condiciones de una contrastación dura usando un lenguaje objetivo, no psicológico.

15.4.6. Los filósofos han buscado frecuentemente una justificación rigurosa de la inducción, basándose en que la inducción es el método o la técnica por el cual la ciencia extrapola una muestra de “ejemplos” o “casos” observados a lo desconocido. Otros filósofos han sostenido que la inducción, precisamente por el hecho de ser un método de expansión del conocimiento, puede justificar cada proyección en particular, pero no necesita justificación ella misma, e incluso no puede justificarse, porque un recurso al alto porcentaje de éxitos del método sería ya una argumentación inductiva y, por tanto, el intento de justificación contendría un círculo vicioso. Examinar las dos tesis. Sugerencia: Empezar por averiguar si la inducción es efectivamente el método que sostienen ambas opiniones. Cf. R. Carnap, *The Continuum of Inductive Methods*, Chicago, University of Chicago Press, 1952; I. Lakatos (comp.), *The Problem of Inductive Logic*, Amsterdam, North Holland, 1968.

15.4.7. Un alto grado de confirmación no tiene valor más que si se refiere a una hipótesis muy contrastable que se haya sometido a contrastaciones duras y exigentes. ¿Están contenidas esas dos condiciones en la fórmula [15.4] o en alguna fórmula conocida de la probabilidad de h dado E , como la fórmula de Bayes?

15.4.8. La lógica de la confirmación pasa por alto la relación de las hipótesis y de las teorías con la concepción del mundo predominante en un determinado tiempo y lugar y con los desiderata de la investigación dictados por la teoría que prevalece en aquellas condiciones entre los científicos. ¿Es realista esa abstracción que prescinde de tales puntos de referencia, o sea, es concorde con la corriente práctica efectiva en cuanto a estimación de teorías? Por lo que hace a la concordancia de las ideas científicas con paradigmas, puede verse el libro de T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago, Chicago University Press, 1962.

15.4.9. La fórmula [15.4], que da el grado de confirmación de una hipótesis, refiere a un conjunto finito de datos *actuales*, n de los cuales confirman h , mientras $N - n$ la refutan. ¿Qué pasaría con la expresión $C(h/E)$ si N se interpretara como el número total de los casos o evidencias *posibles* relevantes para h , y n como el número de casos efectivamente confirmadores de h ? Y si $C(h/E)$ se interpreta —tal como se hace en la teoría de Carnap— como la probabilidad de h dado E , ¿cuál es la probabilidad del enunciado universal de una ley, y qué significa la frase de que esa probabilidad es cero? ¿Que la hipótesis es falsa, que la ley es imposible, o que la probabilidad no es una medida correcta del grado de confirmación? ¿O existe además otra posible interpretación más de esa circunstancia?

15.4.10. Dilucidar el concepto de *evidencia convergente* (o sea, el concepto de una evidencia

que “apunta” a la verosimilitud de una hipótesis o teoría para la cual es relevante), así como el concepto de evidencia *circunstancial* o presumible (esto es, el concepto de una evidencia que no es directamente relevante para la construcción que se está considerando, sino más bien para algunas de las construcciones lógicamente relacionadas con aquella). Sobre el carácter *circunstancial* y convergente de la evidencia en favor de la teoría de la evolución de Darwin en el momento de su formulación, véase W. Le Gros Clark, “The Crucial Evidence for Human Evolution”, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 103, 159, 1959, y *The Antecedents of Man*, 1959; Nueva York, Harper Torchbooks, 1963.

15.5. UNA HISTORIA EJEMPLAR: TORRICELLI

En 1643 Torricelli se enfrentó con el problema de explicar por qué las bombas no pueden levantar el agua a una altura superior a los 18 codos (unos 10 metros). El problema era interesante no sólo para los ingenieros de minas y los fontaneros, sino también por su visible alcance teórico y hasta ideológico. Si, como sostenían los físicos aristotélicos, el agua sube en una bomba de ese tipo porque es aspirada por el vacío (razón por la cual llamaban a estas aspirantes-impelentes bombas de succión), entonces no tiene por qué haber límite a la manifestación de la aversión de la Naturaleza al vacío (*horror vacui*). En realidad, había más razones, de orden no científico, para poner en duda la explicación aristotélica, además de su escaso poder explicativo: el *horror vacui* era una fuerza antropomórfica e inescrutable, y no una fuerza mecánica y medible manifiesta; la ciencia ortodoxa aristotélica estaba desacreditándose en otros terrenos, razón por la cual se estaba haciendo sospechosa en todos; y, por último, aunque no de mínima importancia, la lucha contra la ciencia tradicional era una parte de la guerra emprendida contra el orden social y cultural del feudalismo.

Los escolásticos intentaron salvar la hipótesis ortodoxa mediante unas cuantas hipótesis *ad hoc*. El propio Galileo marchó por ese camino, al suponer que la columna de agua se rompe por su propio peso, a semejanza de una larga varilla de metal. Su discípulo Torricelli no intentó conservar la hipótesis ortodoxa, sino que intentó una conjetura distinta que era compatible con la hidrostática de Arquímedes y Stevinus igual que con la nueva concepción mecanicista del mundo que se estaba construyendo sobre las ruinas de la tradicional concepción organicista y teológica. Además, Torricelli planeó experimentos para contrastar su idea.

La solución de Torricelli no estaba cortada a medida para explicar exclusivamente los fenómenos de la bomba aspirante-impelente, sino que tenía un alcance mucho más amplio: era una pequeña teoría y, por ser, como teoría, de carácter general, podía esperarse que fuera aplicable a varios dominios de la tecnología. Los dos supuestos iniciales de Torricelli eran:

- A1 El aire es un fluido que obedece a las leyes de la estática de los líquidos.
- A2 La Tierra está rodeada por una capa de aire, o, como él mismo decía, “Vivimos sumergidos en un mar de aire elemental.”

De $A1$, junto con la hidrostática dedujo:

t_1 El aire ejerce una presión sobre todos los cuerpos en contacto con él.

Y de $A2$ y t_1 se sigue:

t_2 El aire atmosférico ejerce una presión sobre la superficie de la tierra (se trata de la moderna "presión atmosférica").

Obsérvese que $A2$ puede reformularse del siguiente modo: "Existe la atmósfera". $A1$ no afirma la existencia de nada, sino la básica identidad de los gases y los líquidos, la inclusión de ambos en el género fluidos. Su consecuencia, t_1 , generaliza al aire una propiedad que Stevinus había descubierto en los líquidos. Por lo que hace a t_2 , que es otro enunciado legaliforme, tiene un alcance más restringido y se utilizará en la explicación del funcionamiento de las bombas. De hecho, Torricelli explica la subida del líquido en las bombas como efecto de la presión del aire atmosférico sobre la superficie libre del líquido: la función del pistón no es, como creían los aristotélicos, absorber el agua, sino desalojar el aire, liberando así al agua que sube de la presión atmosférica (cf. fig. 15.7). La lógica de esta explicación es como sigue. De t_2 se deriva por especificación:

t_3 El aire atmosférico ejerce una presión sobre la superficie libre de los líquidos.

De $A1$ se sigue que las leyes de los vasos comunicantes valen también para sistemas aire-líquido. En particular, $A1$, en conjunción con t_3 y con la hidrostática implica:

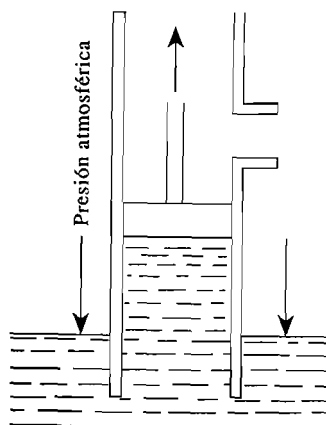


FIGURA 15.7. Explicación mecánica del funcionamiento de una bomba aspirante-impelente: la presión atmosférica se transmite al cuerpo líquido, y lo único que hace el pistón es liberar la columna líquida de dicha presión.

t_4 Si no hay ninguna fuerza que obre sobre una porción de la superficie de un líquido mientras el resto de la superficie sufre la acción de la atmósfera, la primera porción sube hasta que su peso se equilibre con el peso de la columna de aire.

Ahora introducimos el concepto del equilibrio hidrostático en un tubo en forma de U:

Df. Dos fluidos se encuentran en equilibrio en un tubo en U si y sólo si las presiones que ejercen recíprocamente sobre la superficie de contacto son iguales.

Df. y t_4 implican entonces

- t_5 La altura máxima alcanzada por un líquido que sube bajo la acción de la presión atmosférica es la que corresponde al equilibrio. (Dicho cuantitativamente: la presión atmosférica P es igual a la presión del líquido, o sea, a su gravedad específica multiplicada por la altura de su columna: $P = \rho h$, de lo cual se infiere que $h = P/\rho$.)

Aún hace falta dar un pequeño paso más: la relación entre la bomba aspirante-impelente, el depósito de líquido y la atmósfera tiene que precisarse suficientemente. Esta afirmación crucial no es una pura intuición, puesto que va precedida por un análisis; tampoco es una inducción, puesto que no es generalización de un número de observaciones; ni es una deducción, porque no se infiere de premisas previamente formuladas. Es un nuevo axioma sugerido por la comparación de dos cosas y que afirma la semejanza de éstas: es una analogía. La nueva hipótesis es:

- A3* Una bomba aspirante-impelente, el líquido en el cual está parcialmente sumergida y la atmósfera constituyen un tubo en forma de U, cuya peculiaridad consiste en que la presión atmosférica no obra sobre una de sus ramas (cf. fig. 15.8).

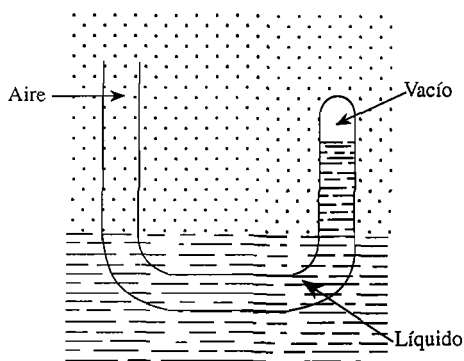


FIGURA 15.8. El modelo teórico de Torricelli para la explicación del complejo bomba-aire-líquido, tal como se expresa en el axioma *A3*.

De *A3* y t_5 puede deducirse la posibilidad, entonces inaudita, de producir realmente un vacío:

- t_6 Si, una vez que la columna líquida ha alcanzado la altura de equilibrio, la bomba sigue trabajando, aparece un vacío entre la superficie de la columna líquida y el pistón.

Esta conclusión, que contradice un axioma de las cosmologías plenistas (negadoras del vacío) de Aristóteles y Descartes, es la base teórica de las técnicas del vacío, desde entonces hasta el día de hoy. En todo caso, tenemos ya con ella todo lo necesario para explicar por qué suben los líquidos en las bombas y por qué su subida tiene límites: *A3* y t_4 implican el primero de los dos explicanda, mientras que *A3* y t_5 implican el segundo.

Además, hemos conseguido un modo de objetificar y medir la presión atmosférica midiendo la altura de una columna de líquido en equilibrio con la atmósfera: la hipótesis inobservable-observable, o hipótesis causa-síntoma, es parte de la teoría.

Dicho en resumen muy condensado, los pasos principales del razonamiento de Torricelli hasta este punto son:

1. *Enunciado del problema*
La limitada capacidad de extracción de las bombas “de succión” y la inadecuación de la hipótesis del *horror vacui* para explicar esa generalización empírica.
2. *Hipótesis iniciales*
A1: La aerostática y la hidrostática son básicamente una sola disciplina *Analogía*
A2: Existe la atmósfera (“mar de aire elemental”) *Analogía*
3. *Elaboración de hipótesis iniciales*
 $\{A1, \text{teoría hidrostática}\} \vdash t_1$ *Deducción*
 $\{A2, t_1\} \vdash t_2$ *Deducción*
 $t_2 \vdash t_3$ *Deducción*
 $(A1, t_3, \text{teoría hidrostática}) \vdash t_4$ *Deducción*
4. *Expansión de la teoría inicial*
Df. *Estipulación*
 $\{Df., t_4\} \vdash t_5$ *Deducción*
A3: Parte de un tubo en U que funciona como bomba *Analogía*
 $\{A3, t_5\} \vdash t_6$ *Deducción*
5. *Solución del problema inicial*
 $\{t_4, A3\} \vdash$ Subida de los líquidos en las bombas *Deducción*
 $\{t_5, A3\} \vdash$ Altura limitada de la columna de líquido que sube por la bomba *Deducción*

Torricelli, que era ya un científico moderno, no se contentó con inventar hipótesis y explicitar sus consecuencias, esto es, no se contentó con construir una teoría: además de construirla, la contrastó. Como sus hipótesis básicas no eran directamente contrastables, tenía que seguir elaborándolas: la construcción de la teoría y su contrastación fueron siempre de la mano. Consideremos, en efecto, las hipótesis A1–A3, y t_1 – t_3 : no pueden contrastarse directamente con evidencia empírica porque refieren a objetos físicos no-perceptibles: la atmósfera y la presión atmosférica. Dicho de otro modo: los conceptos “atmósfera” y “presión atmosférica” son trasempíricos, y, además, teoréticos; si esa afirmación sorprende, ello se debe simplemente a que esos conceptos nos son hoy día familiares. Los supuestos iniciales de Torricelli no podían contrastarse sino indirectamente, poniendo a prueba la adecuación (verdad) de aquellas consecuencias suyas que referían a manifestaciones perceptibles de la atmósfera y de su presión. Estas proposiciones de nivel bajo o mínimos son los teoremas t_4 y t_5 , y t_6 los cuales refieren a la subida de líquidos y a su altura. En realidad, t_4 es sólo parcialmente contrastable por confrontación con cosas y acaecimientos observables: la subida del líquido es desde luego observable, pero su causa, la presión atmosférica, no lo es, y esto es lo que hace que t_4 sea estimable como hipótesis de contrastación. En cualquier caso, los enunciados t_4 a t_6 pueden contrastarse

manejando líquidos y tubos. Y, como son enunciados universales, enunciados referentes a todos los líquidos, todos los tubos y todas las bombas aspirantes-impelentes en todos los lugares y tiempos de la Tierra y en cualesquiera circunstancias, esos enunciados pueden refutarse o convalidarse eligiendo unos cuantos casos específicos.

Torricelli eligió el caso del par aire-mercurio por razones técnicas: dada la gran novedad específica del mercurio, la altura de la columna de líquido sería moderada y, consiguientemente, el instrumental de vidrio sería sencillo. Viviani llevó a cabo el primer experimento, el esquematizado en la fig. 15.9. El resultado es célebre: contra lo que preveía el sentido común, el mercurio no se salió totalmente del tubo, sino que, de acuerdo con la predicción de la teoría, se detuvo a una altura de algo más de un codo y medio: 76 cm. Y en la parte superior del tubo “vimos que se formaba un espacio vacío, y que no ocurría nada en el tubo en el cual se constituye ese espacio” (Torricelli). ¿Y por qué habría tenido que ocurrir algo? Pues porque Descartes y otros partidarios de la hipótesis del *plenum* habían predicho que los tabiques del tubo estallarían, porque el espacio es una sustancia “y la distancia no es sino una propiedad de la extensión, la cual no puede subsistir sin algo extenso” (Descartes). El experimento refutaba la hipótesis del *plenum* y confirmaba la teoría de Torricelli. En particular, confirmaba la hipótesis del vacío, inimaginable con base en las doctrinas rivales de la de Torricelli. De paso se obtuvo un regalo: “un instrumento que mostrará los cambios del aire”, o sea, el barómetro. Otro inobservable más había dejado de ser inescrutable.

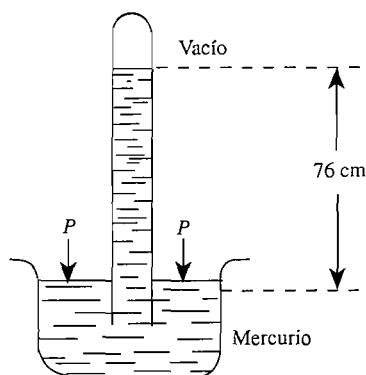


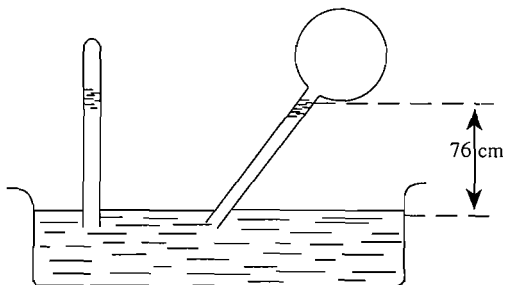
FIGURA 15.9. El primer experimento de Torricelli: “la aparición del vacío”.

Es claro, sin embargo, que el primer experimento puede interpretarse de otros modos. Habría sido posible argüir que la variable relevante no era la presión atmosférica, sino una sustancia sumamente rarificada —un éter— que ejerciera una fuerza atractiva sobre la columna de mercurio, consiguiendo así que se sostuviera suspendida. Y, efectivamente, el aristotélico F. Linus declaró que no había vacío en el tubo invertido de Torricelli, el cual estaba ocupado por una cinta elástica invisible, a la que llamó *funiculus*, de la que quedaba colgando la columna de mercurio. Se trataba, sin duda, de una hipótesis *ad hoc* insusceptible de contrastación independiente: el *funiculus* no tenía más función —ni, por tanto, más manifestación— que la de impedir que se derramara el mercurio, o, más bien, la función de proteger la hipótesis plenista de la experiencia desfavorable.

Pero sin duda era deseable más evidencia empírica; se obtuvo gracias a otros dos experimentos.

Si efectivamente es el vacío el que succiona el líquido, entonces cuanto mayor sea el vacío situado en el extremo superior de un tubo, tanto más alta tiene que ser la columna de líquido succionada. Torricelli observó que las cosas no ocurren así: el vacío no es un agente físico activo, sino, meramente, la vieja demócrítea ausencia de materia (cf. fig. 15.10). Por tanto, si la moción del líquido debía atribuirse a una fuerza (y en esto había acuerdo universal), esa fuerza no podía ser interna: tenía que ser una fuerza externa, y tan aproximadamente constante, por lo demás, que se había ignorado durante mucho tiempo, del mismo modo que los peces de las profundidades marinas ignorarán la existencia del océano.

FIGURA 15.10. El segundo experimento de Torricelli: refutación de la hipótesis de que el vacío ejerce una fuerza de succión.



El tercer experimento se debe a Pascal. Si la naturaleza tiene horror al vacío, ese horror tiene que ser el mismo al nivel del mar que en la montaña; y si la columna de mercurio se equilibra con la atmósfera, la columna líquida tiene que ser más corta cuanto menos atmósfera la equilibra. Dicho de otro modo: si Aristóteles tenía razón, el barómetro tenía que mostrar la misma presión a cualquier altitud; mientras que si la razón era de Torricelli, el barómetro tenía que mostrar una presión atmosférica decreciente al aumentar la altitud. El experimento confirmó la teoría de Torricelli, aunque fue un experimento cualitativo: el alpinista que lo realizó no practicó lecturas de barómetro y termómetro. En todo caso, la llamada ley del barómetro, la ley de la disminución exponencial de la presión con la altura, no habría podido tampoco establecerse en aquella época, porque no se había inventado aún la función exponencial, que es un ingrediente formal necesario de la formulación de la ley.

Este tercer experimento, proyectado por Pascal y realizado por un aficionado—Périer—que en el fondo obraba por incitación de otro aficionado, pues Pascal lo era en este terreno, fue entusiásticamente acogido por todos los científicos progresistas como una prueba concluyente de la teoría de Torricelli. En realidad, el experimento se limitaba a refutar las opiniones contrarias y a prestar un gran *apoyo* a la nueva teoría. Por suerte, ningún filósofo notó —y, desgraciadamente, habría podido hacerlo con razón— que ninguno de los tres experimentos era concluyente, porque, en realidad, los tres habían pasado por alto unas cuantas variables de importancia —la temperatura, la estación del año, las nubes, los vientos, la clase de vidrio, el origen del mercurio, etc.— y ninguno de ellos se había practicado más de una o dos veces. Nadie exigió una acumulación de casos favorables para probabilizar (aumentar la probabilidad de) la teoría de Torricelli: no había, por suerte,

lógicos inductivos por allí para fastidiar a Torricelli. Más bien ocurrió lo contrario: la teoría de Torricelli dio origen a toda una serie de nuevas y fecundas hipótesis, experimentos e instrumentos: los espectaculares experimentos de Guericke con los hemisferios de Magdeburgo, los experimentos de Boyle –haciendo época– sobre la compresibilidad de los gases, junto, naturalmente, con su hipótesis al respecto, la hipótesis de que el sonido es un movimiento ondulatorio del aire, la meteorología como ciencia de los cambios atmosféricos (y no, como hasta entonces, historia natural de los “meteoros”), la bomba de vacío y las mediciones de presión, los artefactos que utilizan el vacío, etcétera, todos están inspirados por la teoría de Torricelli. La nueva teoría no llegaba *post festum* para resumir datos preexistentes, sino que abrió camino a su adquisición y llegó incluso a estimular el desarrollo y la adopción de la cosmología democritea, la cual le suministró a su vez un apoyo doctrinal. Pero ninguna teoría factual es eterna. La conclusión de Torricelli según la cual era posible un vacío completo o “absoluto” tuvo que corregirse dos siglos más tarde, cuando el universo volvió a poblarse con una “materia sutil”, a saber, los campos gravitacionales y magnéticos: hasta el vacío del barómetro de Torricelli está relleno con esos campos. Pero esta vez fue suficiente una corrección menor: el “vacío absoluto” de Torricelli se substituyó por el “vacío corpuscular”.

En su obra, Torricelli y sus colaboradores usaban generosamente analogías y homologías (cf. problema 15.1.1), así como la deducción. En cambio, la inducción no intervenía para nada en la construcción de la teoría ni en la proyección de los experimentos destinados a contrastarla: y no podía, efectivamente, desempeñar papel alguno en esas actividades, pues ni las hipótesis ni los proyectos experimentales son individuos observables. La inducción intervino en la *estimación final de las contrastaciones empíricas* de la teoría de Torricelli. En efecto, la “conclusión” cualitativa (enunciado de resumen) de que la teoría había sido confirmada por un gran número de datos varios era una inferencia inductiva. (Pero hasta el momento no parece que nadie haya calculado la probabilidad o el grado de confirmación de la teoría de Torricelli, y ni siquiera de su hipótesis central, según la cual nos movemos en el fondo de un océano de aire.) Tampoco se acumuló confirmación empírica mediante la repetición y el perfeccionamiento de las observaciones y los experimentos: la teoría apuntaba a nueva evidencia posible a saber, a los hechos que podía explicar aunque no se hubieran observado todavía. Y el apoyo empírico estaba muy lejos de ser el único criterio de estimación: la alegría que produjo el poder refutar ciencia oficial y ortodoxa fue, por lo menos, tan importante como aquél; pero este aspecto del examen de las teorías requerirá nuestra atención más adelante.

Observemos, por último, que, al contrastar su hipótesis central sobre el efecto hidrostático de la atmósfera, Torricelli se vio obligado a introducir hipótesis subsidiarias; de hecho, acabó por construir, involuntariamente, una pequeña teoría. Este hecho es característico de las hipótesis científicas, a diferencia de lo que ocurre con las conjeturas de sentido común: las primeras se enfrentan con la experiencia en haces, y hasta las teorías necesitan la ayuda de otras teorías para tomar contacto con los hechos (cf. sec. 8.4). Y no podría ser de otro modo, dada la interrelación entre las propiedades y los acaecimientos. En cualquier caso, lo importante en la ciencia no es la contrastación de conjeturas sueltas –que es el tema de los sistemas existentes de “lógica” inductiva–, sino la contrastación de teorías. A este tema atenderemos ahora.

Problemas

15.5.1. Torricelli sostuvo que había visto la formación de un vacío. ¿Llevaba razón en esa pretensión?

15.5.2. Dibujar el árbol lógico que muestra la estructura de la argumentación de Torricelli.

15.5.3. ¿Qué papel desempeñó el esquema deductivo del *modus tollens* en el trabajo de Torricelli? ¿Y qué papel desempeñó el esquema de la reducción?

15.5.4. ¿Utilizó Torricelli en sus argumentaciones razonamientos por analogía?

15.5.5. La teoría de Torricelli encontró oposición durante varios años, tanto por parte de los aristotélicos cuanto por parte de los cartesianos. ¿Se trata de un caso de tozuda obstinación, de negativa a creer lo que todo el mundo podía ver?

15.5.6. ¿Han sido las lecturas barométricas las que han desencadenado el estudio de la atmósfera o, por el contrario, ha sido el instrumento mismo un resultado de la teoría de Torricelli? Precaución a respetar: ¿este problema podría ser una de esas cuestiones del tipo del huevo y la gallina?

15.5.7. Supongamos que Torricelli hubiera dominado la estadística matemática y hubiera además tenido a su disposición una máquina calculadora automática. ¿Qué habría ganado con ello en la elaboración de la teoría, en la proyección de los experimentos y en la estimación de los resultados de éstos? Recíprocamente: pongamos a un estadístico en el lugar de Torricelli: ¿habría descubierto más, menos cosas que él, o las mismas?

15.5.8. Estudiar otra historia ejemplar concreta tomada de la historia de la ciencia, reciente o remota, con objeto de descubrir los esquemas de inferencia efectivamente utilizados por los científicos. Este estudio, y la consecución del objetivo, puede requerir algún trabajo de reconstrucción lógica, esto es, la formulación de algunas hipótesis referentes a la vía de investigación seguida por el científico elegido, vía que hoy puede estar ya borrada por falta de documentos. Recordar que sólo las papeleras de los científicos teóricos saben de verdad cuáles fueron los primeros pasos emprendidos por rutas siempre zigzagueantes.

15.5.9. Con frecuencia, hipótesis falsas han sugerido fructíferos proyectos de investigación. Buscar ejemplos y encontrar los mecanismos que pudieron conducir de la falsedad a la verdad. Y extraer una moraleja referente a la identificación pragmatista de verdad con utilidad.

15.5.10. Estudiar el problema de la probabilidad de las hipótesis. Principalmente, determinar (i) las significaciones de las varias probabilidades, (ii) el dominio de aplicación de la fórmula de Bayes, y (iii) el uso de ésta en la inferencia científica y la dilucidación metacientífica. Cf. M. Bunge, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974. M. S. Bartlett, *Probability, Statistics and Time*, pp. 98-110, Londres, Chapman and Hall, 1975.

15.6. CONTRASTACIÓN DE TEORÍAS

Para considerar verosímil una hipótesis es necesario, aunque no suficiente, que ésta consiga altas calificaciones (un apoyo inductivo fuerte) al superar contrastaciones empíricas duras. La evidencia empírica favorable es inconcluyente porque es unilateral. En efecto, las contrastaciones empíricas pueden mostrar que una determinada hipótesis cubre o no cubre un conjunto de datos, pero ni las contrastaciones empíricas más exigentes dicen nada respecto de otras propiedades deseables, especialmente sobre el modo cómo la hi-

pótesis concuerda o no concuerda con el resto del conocimiento relevante, el cual tiene tanto título como la experiencia para dictaminar por su parte acerca del valor de la hipótesis, aunque no sea más que porque para producir los nuevos datos empíricos hemos utilizado parte de dicho conocimiento básico. Cuanto más numerosos son tales contactos con el conocimiento disponible, tanto más variadas pueden ser las contrastaciones y, consiguientemente, tanto más variado el apoyo empírico (indirecto) –al menos potencialmente. En resolución: la *variedad* de los apoyos (u oposiciones) de que dispone una hipótesis tiene tanta importancia, por lo menos, como su *mero número*.

Ahora bien: es posible añadir la variedad al número de confirmaciones (o refutadores) si la hipótesis está lógicamente relacionada con otros enunciados, o sea, si es o se hace parte de una *teoría* (sobre el concepto de teoría, cf. sec. 7.1). Efectivamente: si dos hipótesis, h_1 y h_2 , juntan sus fuerzas para constituir una teoría, entonces serán más numerosos y más variados los datos que pesarán en favor o en contra de ellas, más que si las hipótesis quedaran aisladas una de otra: el conjunto T_1 de las consecuencias directamente contrastables de h_1 será ahora una contrastación indirecta de h_2 y, a la inversa, T_2 apoyará o debilitará indirectamente h_1 . Además, será posible derivar todo un nuevo conjunto de consecuencias T_3 de la conjunción de h_1 y h_2 , de modo que al final cada uno de los supuestos de la teoría habrá ganado contrastabilidad: el número total de consecuencias empíricamente controlables será ahora la unión de los conjuntos T_1 , T_2 y T_3 (cf. fig. 15.11). La contrastabilidad –y, por lo tanto, el apoyo empírico o la debilitación empírica de los supuestos iniciales– ha aumentado porque las hipótesis mismas se han hecho más ricas por su teorificación. Consiguientemente, la construcción de teorías, lejos de ser una mera exigencia de economía, es necesaria para enriquecer el acervo de las hipótesis con nuevas consecuencias deductivas de su conjunción y para mejorar su contrastabilidad empírica.

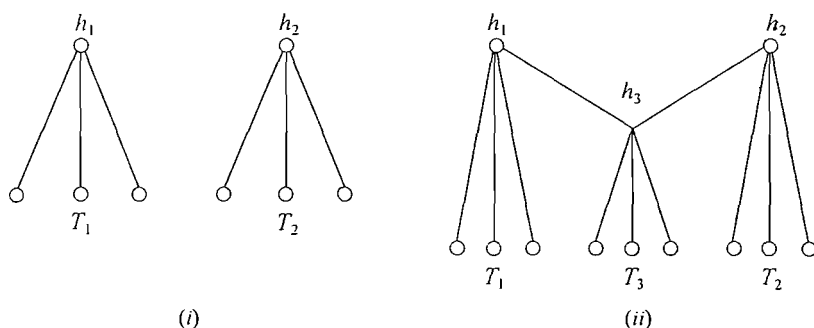


FIGURA 15.11. La contrastabilidad de dos hipótesis, h_1 y h_2 , antes (i) y después (ii) de haberse fundido en una sola teoría; h_3 se ha deducido de h_1 y h_2 , conjuntamente, e implica T_3 , que es un nuevo conjunto de consecuencias.

Supongamos que se nos presenta una teoría y se nos pide que la sometamos a contrastaciones empíricas. ¿Nos precipitaremos al laboratorio o al campo relevante, según los casos? La respuesta debe ser negativa: hay unas cuantas operaciones conceptuales que van por delante de las empíricas. Primera: antes de plantear la contrastación de una teo-

ría tenemos que asegurarnos de que es una teoría en sentido propio, esto es, un sistema hipotético-deductivo, y no un mero montón de conjeturas: si no sabemos si una determinada proposición de la teoría se sigue de otra, tampoco podemos saber cuáles son los supuestos que nuestras contrastaciones hacen probables o improbables. Si no hay tal organización lógica y, sin embargo, el conjunto dado de conjeturas parece merecedor de una contrastación, debemos intentar construir una teoría partiendo de algunas de las hipótesis dadas, o bien contrastarlas una después de otra. En el caso del psicoanálisis se ha propuesto alguna vez un procedimiento parecido, pero el proyecto no se ha llevado a cabo nunca. Segunda: tenemos que asegurarnos de que la teoría es en principio empíricamente *contrastable*. Caso de no serlo, debemos afinar las vagas conjeturas y eliminar los supuestos *ad hoc* que hacen a la teoría insusceptible de refutación o prácticamente tal. De no hacerlo así, todo dato imaginable confirmará la teoría. Un alto grado de confirmación no es estimable más que si es genuinamente a posteriori, o sea, si la teoría no se construye para satisfacer toda circunstancia posible. Tercera: debemos darnos cuenta de cuáles son los *presupuestos* de la teoría, porque podría ser que éstos, y no la teoría misma, necesitaran contrastación, o que ya hubieran sido descartados por contrastaciones anteriores. En todo caso, hay que ser muy cuidadosos en esto, porque ningún enunciado factual, ya se presente como presupuesto, ya lo haga como hipótesis a contrastar, es necesariamente totalmente verdadero. Cuarta: tenemos que reunir las consecuencias contrastables que deseamos confrontar con datos empíricos, o sea, debemos *derivar* efectivamente algunas consecuencias lógicas directamente contrastables y, sin embargo, teoréticas (no-observacionales), t_i , de los supuestos iniciales de nuestra teoría. Esto exigirá no sólo deducción, sino también la adopción de ciertos datos empíricos obtenidos de informaciones previas, mediciones o experimentos. También puede exigir la introducción de hipótesis simplificadoras que posibiliten la deducción y/o la aplicación a casos especiales. * Si la teoría es matemáticamente compleja, las simplificaciones (por ejemplo, linealizaciones) pueden ser tales que se produzca una *nueva teoría*, más débil, pero contrastable, lo cual significa que la contrastabilidad no puede identificarse con la fuerza lógica (cf. sec. 5.7). Por tanto, las contrastaciones empíricas serán relevantes para la teoría más débil. Si le son desfavorables, podemos elegir entre rechazar la inicial teoría "exacta" o alguna de las brutales suposiciones simplificadoras. Sólo si se consigue mejor concordancia con la experiencia, tras una gradual relajación de las hipótesis simplificadoras, sospecharemos que la teoría "exacta" es parcialmente verdadera. * Quinta y última: debemos *traducir* las consecuencias contrastables t_i por enunciados semiempíricos t_{i-} *, susceptibles de confrontación con datos e_j , igualmente traducidos a elementos de evidencia e_j^* (cf. sec. 8.4). Recordemos, en efecto, que incluso las consecuencias de más bajo nivel de una teoría, por ser enunciados teoréticos, refieren al modelo ideal de la teoría, y exigen ciertos cambios semánticos antes de poder confrontarse con datos empíricos: por ejemplo, habrá que interpretar las probabilidades teoréticas como frecuencias computables.

Luego de haber recorrido ese estadio preliminar, podemos pasar a la contrastación empírica propiamente dicha. El proceso de contrastación empezará con el planeamiento o proyección, y terminará con la consecución de un cuerpo E de evidencia cribada relevante para las consecuencias contrastables de la teoría, T (de hecho, relevantes a través de traducciones E^* y T^* a un común lenguaje semiempírico). El acto final consistirá en

comparar esos dos conjuntos de proposiciones con la intención de emitir un dictamen sobre T y así, indirectamente, sobre toda la teoría; o con la intención de juzgar E a base de un T previamente corroborado. El proceso de contrastación de teorías puede, pues, analizarse en tres estadios principales: elaboración teórica, proyección y ejecución de contrastaciones, e inferencia. Con algún mayor detalle formulamos el siguiente esquema, basado en el diagrama 8.15 de la sec. 8.4 y en la discusión de la sec. 15.4.

1. *Estadio teórico: obtención de T*

1a *Presupuestos*, P , de la teoría. (La contrastación no los pone en tela de juicio, pero son criticables antes y después de ella.)

1b *Supuestos específicos*, A , de la teoría: axiomas y premisas auxiliares que refieren al modelo de la teoría. (Éste es el objeto indirecto de la contrastación.)

1c *Datos*, e_i , de experiencia pasada y/o presente, formulados en el lenguaje de la teoría. (La contrastación no los pone tampoco en duda.)

1d *Deducción de consecuencias contrastables*, t_i :
 $\{P, A, e_i^*\} \vdash t_i, \quad i = 1, 2, \dots, m < \infty$ [15.5]

Las consecuencias efectivamente derivadas, t_i , son el objeto directo de la contrastación; son en número finito, aunque el total de las consecuencias posibles constituye un conjunto infinito.

1e *Interpretación de las t_i en un lenguaje semiempírico*, o sea, como evidencias potenciales:

$I(t_i) = t^*, \quad \{t_i \mid 1 \leq i \leq m\} = T^*$ [15.6]

Esas traducciones exigen a menudo el uso de una teoría auxiliar, y pueden ser criticadas mediante contrastación adecuada.

2. *Estadio empírico: obtención de E*

2a *Presupuestos teóricos*, Q , de los procedimientos empíricos, o sea, fragmentos de teorías incorporados a la proyección, la ejecución y la interpretación de la contrastación.

2b *Enunciados observacionales* (protocolos), e_j .

2c *Interpretación de las proposiciones observacionales* a base de la teoría Q : deducción de evidencia e_j^* a partir de los protocolos o datos e_j , en conjunción con la teoría Q y con reglas de interpretación, I :

$\{Q, I, e_j\} \vdash e_j^*, \quad j = 1, 2, \dots, n < \infty, \quad \{e_j \mid 1 \leq j \leq n\} = E^*$ [15.7]

Recuérdese que siempre que hay en juego magnitudes, e_j^* no se identifica con t_j^* , ya por el hecho de que la primera contiene una referencia al error experimental, la cual está ausente de t_j^* .

3. *Inferencia: confrontación de T^* con E^* y decisión acerca de T*

Si la evidencia recogida, E^* , es relevante para T^* , son posibles dos casos: o bien E^* y T^* concuerdan, o bien no concuerdan.

3a *Caso 1: T^* concuerda con E^** , o sea, la evidencia es compatible con las consecuencias de la teoría (dentro de los límites del error experimental aceptado). Si t_i^* queda empíricamente confirmada, consideramos a t_i como igualmente confir-

mada, aunque esta última, hablando estrictamente, no se ha sometido a contrastación, puesto que refiere a un modelo ideal, y no a experiencia. Consideramos luego la fuente de t_1 , a saber, la fórmula [15.5] y nos damos cuenta de que la confirmación de t_i no tiene gran valor, porque (i) partiendo de una conclusión verdadera no podemos retrotraernos inequívocamente a una premisa verdadera, sino, a lo sumo, a una premisa posible, y (ii) una consecuencia verdadera puede derivarse de un conjunto que contenga proposiciones falsas, puesto que, para toda proposición p , verdadera o falsa, vale $\{p, q\} \vdash q$. Por eso lo que puede inferirse de la concordancia de E^* con T^* es sólo (i) que la evidencia E^* es *relevante* para la teoría, y (ii) que la teoría es *compatible* con esa evidencia. Como eso es lo más que podemos esperar de una contrastación empírica, consideraremos la confirmación como un apoyo de la teoría, no como una prueba de la misma.

- 3b *Caso 2: T^* no concuerda con E^** , o sea, la discordancia entre las proyecciones y los datos rebasa el margen de tolerancia previamente contenido. (La discrepancia puede ser total o parcial: un subconjunto $E^{*'} \subseteq E^*$ puede discrepar del subconjunto correspondiente $T^{*'} \subseteq T^*$: Se abren entonces dos modos de operar: se aceptan las evidencias discrepantes como verdaderas o se rechazan considerándolas sospechosas.

*Subcaso 2a: Se acepta la evidencia no confirmadora E^** , basándose en que está bien sostenida por otra pieza de conocimiento: $E^{*'}$ puede haberse sometido a prueba independientemente, mediante otra técnica diferente, o puede ser compatible con otra teoría previamente aceptada. Por eso ponemos en duda los teoremas t_i incompatibles con la evidencia correspondiente, lo cual nos hace dudar también del entero conjunto $\{P, A, e_i^*\}$ de las premisas que implican t_i (cf. fórmula [15.5]). Sigue sin ser posible inferir nada acerca de los supuestos específicos, A , de la teoría, que son los que deseamos contrastar: el error puede encontrarse en los presupuestos P o en los datos empíricos e_i o en su traducción e_i^* utilizada en la derivación de t_i . Dicho de otro modo: la refutación de unas consecuencias de una teoría no tiene por qué indicar necesariamente la falsedad total de ésta: la culpa puede ser de los presupuestos o de la información empírica con que se ha alimentado la teoría. ¿Cómo podemos proceder a identificar al culpable? Volveremos dentro de poco a ocuparnos de este punto.

*Subcaso 2b: Se rechaza la evidencia no-confirmadora, E^** , con base en la hipótesis estratégica de que esa evidencia se debe a un error de proyección, ejecución o interpretación de los procedimientos empíricos. Los datos restantes de esa misma serie de observaciones (o sea, el conjunto $E^* - E^{*'}$) se aceptan al mismo tiempo; o bien, si son anómalos y también sospechosos (o sea, por ejemplo, si $E' = E$), se rechazan todos y se repite toda la observación, toda la medición o todo el experimento, acaso con un nuevo proyecto. Esta conducta —el rechazar los datos “anómalos”— no es infrecuente, y se decide siempre que la teoría en contrastación ha superado ya contrastaciones de la misma categoría, mientras que el dispositivo de contrastación se está ensayando por vez primera. En resolución: hay veces en que es la teoría la que contrasta el

experimento, aparte de intervenir en su planteamiento y su interpretación. En esas ocasiones no puede llegarse a ninguna conclusión sobre la teoría contrastada, puesto que prácticamente no ha sido puesta en discusión: y contrastar una teoría es ponerla en duda.

Los subcasos *2a* y *2b* agotan obviamente la clase de los desacuerdos entre las proyecciones teoréticas y los datos. Y, salvo para casos-límite que exijan el perfeccionamiento de los procedimientos empíricos, la concordancia o la discordancia con la experiencia es todo lo posible. En resumen: hemos considerado todos los casos posibles. Pero entonces nos encontramos con la deprimente consecuencia de que ni la confirmación de las consecuencias contrastables de una teoría ni su refutación pueden obligarnos a sostener *concluyentemente* una teoría ni a rechazarla *concluyentemente*. Con sólo experiencia, no podemos más que *acumular evidencia* en pro o en contra de una teoría. En el primer caso, conseguimos confirmación empírica, o refuerzo (caso 1). La desconfirmación empírica se considerará contundente, dentro del alcance de la contrastación que esté en curso, si la evidencia desfavorable se apoya a su vez en un cuerpo de conocimiento bien contrastado. (Frecuentemente se construyen nuevas teorías para dar razón de datos que entraron en conflicto con anteriores teorías.) Incluso así, la evidencia negativa no indicará inequívocamente cuáles son los conceptos supuestos defectuosos de la teoría (subclase *2a*). Si la evidencia misma es sospechosa (subcaso *2b*), entonces el asunto quedará aún menos definitivamente resuelto.

La evidencia favorable es inconcluyente, y la evidencia desfavorable no es mucho más concluyente en el caso de las teorías, a diferencia de lo que ocurre en el caso de las hipótesis sueltas, que no se enfrentan con experiencia apoyada por un cuerpo de supuestos teoréticos más o menos importante. La confirmación empírica autoriza a la teoría a dar un paso más adelante, mientras que la refutación empírica la hace retroceder algunos pasos: pero eso es todo lo que dan de sí ambas. Parece así que lleguemos a un callejón sin salida: o suspendemos el juicio sobre el valor veritativo de las teorías científicas, o adoptamos un criterio convencionalista de aceptación de teorías, como la simplicidad de un tipo u otro, o un criterio pragmatista, como la utilidad práctica o el atractivo estético. La primera solución equivale a liquidar la teorización, puesto que arrebató a esta actividad su motivación, a saber, la obtención de la representación conceptual más verdadera posible de la realidad. Y la segunda solución pasa por alto la cuestión importante: '¿Hasta qué punto son verdaderas nuestras teorías?' y no da ninguna indicación sobre el modo de mejorar su adecuación a los hechos. Mas, por suerte, aunque la situación es compleja, no llega a tener esa gravedad.

La conclusión escéptica que afirma la imposibilidad de atribuir valor veritativo a ninguna teoría científica se basa en dos presupuestos que están muy lejos de poderse considerar definitivamente establecidos, o ni siquiera razonablemente: (i) que lo único que interesaría sería una prueba *concluyente*, definitiva, de la verdad *completa* o la completa falsedad de nuestras teorías; (ii) que la experiencia es un criterio *absoluto* y, particularmente, un criterio independiente de toda teoría. El primer supuesto es falso: las teorías no se prueban o demuestran, sino que, por así decirlo, se ponen a prueba, y lo más que pretendemos es poder mostrar temporalmente que la teoría dada en cada caso es parcial-

mente verdadera. Ése es el *summum bonum* en el campo de la estimación de teorías, como muestran la historia de la ciencia y el análisis de la construcción de teorías (cf. sección 8.1). El supuesto de que la experiencia es un criterio absoluto que mide las teorías se presentó en la anterior argumentación a través de las siguientes hipótesis metodológicas tácitas: *a*) que los presupuestos *P* de una teoría contrastada son objeto de la contrastación, y *b*) que las contrastaciones empíricas son la única clase de contrastación de las teorías factuales. Mostraremos que esos dos supuestos son falsos y que, por tanto, no estamos obligados a aceptar una actitud escéptica total frente a la posibilidad de estimar el valor veritativo de las teorías científicas.

Cada vez que se pone en tela de juicio una hipótesis, t_i , hay que tomar como dado un conjunto de hipótesis y datos, o sea, hay que tomarlo, al menos provisionalmente, como si fuera verdadero: de no ser así, no habría criterio con el cual contrastar la hipótesis en cuestión. Dicho de otro modo: no es posible poner en duda ni criticar una proposición dada si no es a base de ciertos conjuntos de proposiciones que, para fines de esa crítica, se tratan *como si* fueran totalmente verdaderas, aunque en otra ocasión puedan discutirse ellas también. Según esto, *nunca podemos poner en tela de juicio la totalidad de un cuerpo de conocimiento de una sola vez*: la crítica científica es siempre por piezas y gradual. Ni siquiera las revoluciones científicas son totales.

Eso tiene la siguiente consecuencia para la estimación de la discordancia entre una proyección teórica y la correspondiente evidencia empírica (subcaso 2a de antes). Para derivar t_i a partir de *P*, *A* y e_i^* (cf. fórmula [15.5]), hemos afirmado independientemente *P* y e_i^* ; consiguientemente, la contrastación empírica no afecta a la totalidad de las premisas, sino sólo a los *supuestos específicos*, *A*, de la teoría. En particular, la contrastación empírica no afecta a las fórmulas lógicas o matemáticas presupuestas por la teoría, pero no introducidas por ella: si realmente ellas también se pusieran en duda, no serían *presupuestos*. Consiguientemente, si se confirma t_i puede declararse que los supuestos específicos *A* han recibido un nuevo apoyo, aunque no es lícito afirmar que sean verdaderos; y si t_i queda refutado sobre la base de una buena evidencia, *A* queda eliminado sin arrastrar necesariamente a *P* y e_i^* en su caída. En resolución: en el subcaso 2a (evidencia buena y desfavorable) tenemos el siguiente esquema de inferencia:

$$\frac{\begin{array}{cc} \vdash P, & \vdash e_i^* \\ \{P, A, e_i^*\} \vdash t_i & \end{array}}{\neg A} \quad \frac{\neg t_i^*}{\neg t_i}$$

Ese esquema es una refutación concluyente del conjunto de las premisas específicas. Podemos, por tanto, eliminar teorías falsas con la condición de que no se ponga en tela de juicio el cuerpo de las premisas (presupuestos y datos) usadas para derivar la falsedad en la experiencia de que se trate, aunque ese conjunto pueda perfectamente criticarse en el curso de otra experiencia. Además, por el procedimiento descrito no podemos *identificar* los miembros más falsos del conjunto de supuestos *A*. El descubrimiento del (los) culpable(s) es, a pesar de ello, posible por medio de otras *contrastaciones independientes* —o sea, contrastaciones que contengan todos los supuestos específicos menos el sospecho— y también, caso de ser posible, por medio de contrastaciones que no contenen-

gan más que el supuesto sospecho y ninguno de los demás del conjunto *A*. El mismo procedimiento puede aplicarse en principio y sucesivamente a cada miembro del conjunto de las premisas específicas, hasta identificar todos los supuestos falsos. Baste eso por lo que hace a la refutación.

En el caso de la confirmación no puede llegarse a conclusiones tan tajantes. Si se confirma la teoría –o, si se prefiere decirlo así: en el caso de que duras contrastaciones no consigan refutar la teoría–, no podemos sin más aceptarla como verdadera, sino que tenemos que someterla a contrastaciones no-empíricas como la de la continuidad con el cuerpo del conocimiento y la referente a la capacidad de prever casos inesperados (afirmabilidad). Se considerará –*pro tempore*– más verdadera la teoría que, tras haberse confirmado empíricamente, supere del mejor modo una batería de contrastaciones no empíricas que nos ocupará en la sección próxima.

En conclusión: generalmente es posible conseguir conclusiones claras, aunque no *definitivas* sobre el valor veritativo de cualquier teoría científica, o de parte de ella, a condición de que no se discutan algunas otras teorías o partes de ellas, y de que las contrastaciones empíricas se complementen con ciertas contrastaciones no-empíricas. (Muy a menudo se usan algunas partes de la teoría en la proyección de experimentos tendentes a poner a prueba otras partes de la teoría: en tales casos es claro que no se puede intentar contrastar la teoría entera a la vez.) Además, aunque las teorías –a diferencia de las conjeturas sueltas– se enfrentan como totalidades con la experiencia, es posible analizar esas totalidades e identificar sus componentes groseramente falsos. Esto elimina la opinión de que las teorías científicas son totalmente convencionales (es decir, ni verdaderas ni falsas, sino convenientes) y, por tanto, inasequibles a los ataques de la experiencia.

Esto completa nuestra exposición de la contrastación empírica de las teorías. Para que no quede la impresión de que las contrastaciones empíricas son meros medios para estimar los valores veritativos de las teorías, observaremos que independientemente de que se consigan o no los objetivos de una contrastación empírica, siempre se ganan algunos resultados laterales. En primer lugar, es posible que la teoría se haya precisado más, ya porque se haya hecho más aguda su formulación, ya porque se haya ilustrado. En segundo lugar, es posible que para contrastar sus consecuencias se haya elaborado la teoría con mayor detalle. En tercer lugar, el hiato entre el modelo teórico y su referente real puede haberse dibujado con mayor precisión, esto es, el dominio de adecuación empírica de la teoría puede haber quedado delimitado con mayor exactitud. En cuarto lugar, es posible que se hayan inventado o refinado técnicas de contrastación en el curso del intento. En quinto lugar, pueden haber surgido hechos nuevos, descubiertos en el curso de la contrastación. Algunos de esos subproductos pueden resultar al final más importantes que la teoría o que los resultados empíricos. Ninguna contrastación de teorías practicada con detalle será probablemente estéril, aunque no dé más resultado que la falsación de la teoría contrastada.

Problemas

15.6.1. Examinar la filosofía de la ciencia profesada por C. Huyghens tal como se expone en el Prefacio a su *Treatise on Light*, 1690; Londres, Macmillan, 1912, pp. vi-vii: "...mientras que los Geómetras prueban sus Proposiciones mediante Principios fijos e incontestables, aquí [en la física] los Principios se verifican por las conclusiones que se obtienen de ellos; pues la naturaleza de estas cosas no permite que se haga de otro modo. Siempre es posible conseguir así un cierto grado de probabilidad, que muchas veces es poco menos que la demostración completa. Sea prueba de ello el caso en que las cosas demostradas mediante los Principios supuestos corresponden perfectamente a los fenómenos que el experimento ha puesto en observación; especialmente cuando hay gran número de ellos, y principalmente cuando se puede imaginar y prever nuevos fenómenos que deberían seguirse de las hipótesis que uno utiliza, y cuando se descubre que en eso el hecho corresponde a nuestra previsión."

15.6.2. Examinar el artículo de W. H. Sewell, "Some Observations on Theory Testing", en *Rural Sociology*, 21, 1, 1956, considerando la necesidad de dar nueva formulación a las vagas conjeturas psicoanalíticas (que el autor llama teorías) antes de someterlas a contrastación. *Problema en lugar de ése*: Todo lo que puede construirse por el momento en el terreno del estudio de los fluidos es una teoría de los fluidos perfectos o cuasi-perfectos. Pero una tal teoría no puede contrastarse, precisamente porque no hay líquidos perfectos ni cuasi-perfectos. ¿Qué hacer en esa situación?

15.6.3. El axioma central de la mecánica de Newton, a saber, la ley " $f=ma$ ", no se contrastó directa e independientemente hasta un siglo más tarde, cuando G. Atwood proyectó, construyó y manejó su máquina. ¿Cómo entonces pudo considerarse verdadera la mecánica de Newton durante tanto tiempo antes, e incluso verdadera *a priori*? *Problema en lugar de ése*: ¿Puede interpretarse toda evidencia desfavorable como error experimental?

15.6.4. La teoría corpuscular de la luz (Newton) puede resumirse en los siguientes axiomas:

A1 La luz consta de corpúsculos que satisfacen las leyes de la mecánica.

A2 Los corpúsculos de la luz sufren la atracción de las partículas que constituyen los medios transparentes.

Partiendo de A1 se obtiene el teorema verdadero de la propagación de la luz en el vacío. De A1 y A2 se sigue que la luz se desvía al pasar muy cerca de estrellas (verdad), y que la velocidad de la luz es mayor en medios transparentes que en el vacío (falso). Dibujar el árbol lógico de estas inferencias e indicar qué experimentos cruciales podrían refutar la teoría, a pesar de tener ésta algunas consecuencias verdaderas. *Problema en lugar de ése*: Examinar la situación de la actual teoría del aprendizaje, en la cual modelos (teorías) discrepantes dan razón de los mismos datos aproximadamente. En particular, mostrar cómo se contrastan los varios supuestos y averiguar si se ponen también a prueba con otras piezas de conocimiento (por ejemplo, con la fisiología). Cf. S. Sternberg, "Stochastic Learning Theory", en R. D. Kuce, R. R. Bush y E. Galanter, *Handbook of Mathematical Psychology*, Nueva York, Wiley, 1963, vol. II, pp. 72 y 102-116.

15.6.5. Un experimento crucial es aquel que nos permite obtener una inferencia concluyente respecto de las pretensiones de verdad de pares de teorías rivales. ¿Son los experimentos cruciales para la aceptación, o más bien para la recusación de construcciones teóricas? *Problema en lugar de ése*: ¿Durante cuánto tiempo quedan las teorías bajo vigilancia (como diría el biólogo P. Medawar)?

15.6.6. Examinar las siguientes tesis de P. Duhem: (i) no existen experimentos cruciales, porque lo que se somete a contrastación empírica son teorías enteras, no hipótesis aisladas; (ii) en el caso de evidencia desfavorable, es posible modificar arbitrariamente cualquier constituyente del cuerpo teórico contrastado, y, consiguientemente, (iii) las teorías son convenciones que pueden manejarse *ad libitum*. Cf. P. Duhem, *La théorie physique*, París, Rivière, 1914, parte II, cap. 6; W.

V. O. Quine, *From a Logical Point of View*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1953, cap. 2 (trad. castellana, Ariel, Barcelona); A. Grünbaum, "The Duhemian Argument", *Philosophy of Science*, 27, 75, 1960, y *Philosophical Problems of Space and Time*, Nueva York; Alfred A. Knopf, 1963, pp. 106-115; M. Bunge, *Filosofía de la física*, cap. 10, Barcelona, Ariel, 1978.

15.6.7. Supongamos que se contrastan dos teorías rivales que, como tan frecuentemente ocurre, tienen en común algunos supuestos. Supongamos, además, que una de las teorías queda definitivamente refutada, mientras que la otra se confirma. ¿Cómo separar en este caso el grano de la paja? Indicación: Simplificar el problema tratando el caso siguiente:

$$T_1 = \{A_1, A_2\}, \quad T_2 = \{A_2, A_3\}.$$

15.6.8. Supongamos que en el caso del problema anterior resulta confirmado T_2 . ¿Podemos entonces afirmar con confianza A_2 y A_3 , o más bien debemos seguir sometidos a prueba? ¿O conviene, por último, trabajar con ellos, pero de un modo crítico? *Problema en lugar de éste*: ¿Es posible contrastar una teoría científica de un modo que la agote, o sea, es posible someter cada una de sus fórmulas —o, al menos, cada una de sus consecuencias del nivel más bajo— a efectivas contrastaciones empíricas? Si esa contrastación completa no es posible, ¿qué decir de la situación?

15.6.9. La contrastación o el experimento de laboratorio o de campo aplicado a cualquier teoría factual presupone (utiliza) por lo menos fragmentos de geometría física, óptica, mecánica y termodinámica. Obtener de ello algunas enseñanzas, porque en este caso parece que tenga razón la Duquesa de Alicia. *Problema en lugar de éste*: Según nuestra exposición de la contrastación de teorías, en la contrastación empírica de una teoría factual intervienen una o más teorías (auxiliares de la contrastación. Cf. el texto de esta sección y la sección 8.4). Comparar esa descripción con la explicación, más difundida, según la cual la contrastación de teorías exige la sustitución de los conceptos teóricos por conceptos observacionales, o sea, una desteorización, y no el enriquecimiento de la teoría que se está contrastando.

15.6.10. Discutir la tesis de que la evidencia empírica en favor de la percepción extrasensorial es aplastante, de tal modo que lo único que queda por hacer es sistematizar esos datos en una teoría. Indicación: Distinguir entre informes de observación, e , y evidencias, e^* . *Problema en lugar de éste*: Todo sistema concreto tiene cierto número de rasgos, y sólo una parte de ellos queda cubierto por las teorías correspondientes. Consiguientemente, toda teoría factual dará consecuencias, o bien incontrastables o bien falsas en las circunstancias reales, a menos de complementarla mediante fragmentos de otras teorías que no rivalicen con ella. ¿Da esto un apoyo a la tesis del carácter absoluto de la experiencia y de su derecho a juzgar de la teoría sin ayuda de teoría?

15.7. EXAMEN DE TEORÍAS

Hay varios modelos del universo compatibles con los datos astronómicos de que disponemos, datos que son escasos e imprecisos: a tenor de lo que hoy sabemos, el universo puede ser espacialmente finito o infinito, el espacio puede ser curvo o no serlo, etc. En la física atómica y nuclear encontraremos partidarios de una teoría que no dé más información que la suministrada por el experimento, y otros especialistas proponen la introducción de otras construcciones hipotéticas referentes a propiedades inobservables. En meteorología nos encontramos con la opinión de que el tiempo atmosférico es resultado de la interacción de un gran número de factores, por lo que pueden despreciarse variaciones

pequeñas de cualquiera de esas variables; pero existe también la opinión contraria de que la atmósfera es un sistema inestable, de tal modo que cualquier pequeño factor puede, por ejemplo, desencadenar la lluvia. En biología se dan dos clases de teorías de la mortalidad: las que suponen que el lapso de la vida del individuo está genéticamente determinado y las que sostienen que la muerte es el resultado de una larga secuencia acumulativa de pequeñas lesiones; y así sucesivamente. Difícilmente habrá algún campo científico en el que domine sin discusión una teoría importante o, por lo menos, en el que no sean concebibles otras teorías rivales. Y esa rivalidad será una fuente de progreso mientras algunas de esas teorías no se institucionalicen en escuelas dogmáticas, a imitación de las filosofías de escuela.

Dos teorías científicas pueden considerarse *rivales* si tratan de modo diferente el mismo tema o sistema de problemas (mismidad aproximada). Si, además, dan de sí prácticamente las mismas consecuencias o proyecciones contrastables, se dice que las dos teorías son *empíricamente equivalentes*, por mucho que difieran conceptualmente. Las teorías empíricamente equivalentes no tienen por qué ser recíprocamente compatibles como lo son las varias representaciones cartográficas del globo terrestre: si fueran compatibles, no serían más que formulaciones diferentes de la misma teoría, o sea, serían también *conceptualmente equivalentes*. Las teorías que son empíricamente equivalentes pero conceptualmente inequivalentes pueden construirse casi a voluntad. Así, por ejemplo, toda teoría física en la que se presente el concepto de longitud presupone alguna geometría métrica, generalmente la euclídea. Es posible aproximarse al espacio plano retratado por ésta por medio de infinitos espacios curvos tratados como otras tantas geometrías riemannianas: para curvaturas pequeñas o para volúmenes pequeños no habrá diferencias empíricamente registrables entre las correspondientes teorías físicas, lo que quiere decir que, en esas condiciones, todas ellas serán empíricamente equivalentes. En todo caso, las discusiones sobre teorías empíricamente equivalentes suelen ser las más vacías, algo así como las luchas entre sectas de una misma religión: en los dos casos se trata de salvar el mismo conjunto de individuos.

La experiencia es de mucho peso, y acaso decisiva, en un punto: la estimación de teorías empíricamente *inequivalentes*. Pero ¿cómo proceder en presencia de dos o más teorías empíricamente equivalentes? Una conducta posible consiste en esperar y ver más evidencia empírica: si las teorías son realmente diferentes, si no son meramente dos modos equivalentes de decir lo mismo, puede presentarse una situación en la cual al menos una de las dos quede descalificada. Pero no bastará con eso: el partidario de la teoría más defectuosa empíricamente puede recurrir a reforzarla retocando alguno de sus supuestos iniciales o introduciendo hipótesis *ad hoc* para salvar aquéllas (cf. sec. 5.8). Y como este proceso puede continuarse indefinidamente, parece necesario apelar a alguna batería de *contrastaciones no-empíricas*, o sea, a contrastaciones adecuadas para establecer propiedades distintas de la concordancia con el hecho observado; tales contrastaciones son necesarias cuando dos o más teorías concuerdan con la misma perfección, o casi con la misma perfección, con la información empírica.

Averiguar cuáles son esas deseables propiedades de las teorías científicas no es cosa que pueda hacerse con trabajo meramente lógico: tenemos que utilizar la historia de la ciencia para descubrir los criterios *efectivamente usados* en la estimación de las teorías

científicas. Pero incluso eso es insuficiente, pues algunos de esos criterios pueden ser malos. Con objeto de seleccionar aquellos que son deseables para el progreso del conocimiento tenemos que someterlos a un examen lógico y metodológico. Empecemos por echar un vistazo a algunas importantes controversias científicas.

Nuestro primer ejemplo será la controversia Ptolomeo-Copérnico, o geostatismo-heliostatismo. Según filósofos eminentes, esta disputa no se ha resuelto todavía, ni lo será nunca, porque los dos correspondientes “sistemas del mundo” son equivalentes: la única diferencia entre ellos se referiría a la complejidad y a la conveniencia respectivas. Los inductivistas aprovechan esta supuesta equivalencia como dato en favor de la simplicidad como criterio decisivo entre teorías rivales: los convencionalistas afirman que el hecho sostiene su opinión de que la búsqueda de la teoría más simple compatible con la experiencia debe sustituir la búsqueda de la teoría más verdadera. La imagen heliostática de los movimientos de los planetas es, se dice, preferible a la explicación geostática simplemente porque simplifica la astronomía, lo cual no es verdad, puesto que la primera doctrina está en conflicto con el sentido común (por el hecho de contener conceptos trasempíricos como “órbita planetaria”) y utiliza refinadas hipótesis de la dinámica y sutiles instrumentos de cálculo, como la teoría de las perturbaciones. De hecho, la equivalencia entre las dos explicaciones es muy limitada: sólo cubre la geometría del movimiento de los planetas, en el sentido de que puede adoptarse cualquiera de las dos teorías para dar razón de las posiciones aparentes del Sol y los planetas. En todos los demás respectos, las dos teorías son inequivalentes, como sugiere la siguiente tabla sinóptica:

“Sistema” ptolemaico	“Sistema” copernicano (una vez inserto en la mecánica newtoniana)
Combinación convencional de ciclos, epí ciclos, excéntricas y otras variables intermedias.	Ecuaciones del movimiento real
↓	↓ Soluciones (referidas al Sol)
Órbitas observables	Órbitas observables (referidas a la Tierra)

Enumeremos las diferencias más notables entre los dos “sistemas del mundo”, porque cada una de ellas puede sugerir un criterio para el examen de las teorías científicas. Primera: *sistemicidad*. El sistema heliostático no trata cada planeta por separado, como hace el geostático, sino que introduce el concepto físico de sistema solar y consigue así unidad conceptual y metodológica; en cambio, el “sistema” de Ptolomeo era en realidad un conjunto de teorías, una para cada planeta, de tal modo que si una de ellas resultaba falsa se podía corregir sin modificar las demás. Segunda: *consistencia externa*. Mientras que el “sistema” ptolemaico está aislado del resto de la ciencia, el sistema heliostático es continuo (y no sólo compatible con) la dinámica, la teoría de la gravitación y la teoría de la evolución de las estrellas, en el sentido de que sus rasgos principales no se toman como dados, sino que pueden explicarse —detalladamente unos, en esquema los otros— por dichas teorías. En resumen: el sistema heliostático está inserto en la ciencia, mientras que el “sistema” ptolemaico no era coherente ni siquiera con la física aristotélica. Tercera: *potencia expli-*

cativa y predictiva. El sistema heliostático explica hechos que el “sistema” geostático ni siquiera conoce, como las estaciones de la Tierra, las fases de los planetas y satélites, y aberración de la luz, etc. Cuarta: *representatividad*. Lejos de ser un mero expediente simbólico para unir observaciones —como querrían las concepciones convencionalista y pragmatista de la teoría científica—, el sistema heliostático es un modelo visualizable de un fragmento de realidad, y fue concebido por Copérnico, Bruno, Galileo y otros como una imagen verdadera del sistema solar; Quinta: *fuerza heurística*. El sistema heliostático estimuló nuevos descubrimientos en la mecánica, la óptica y la cosmología. Por ejemplo, posibilitó la investigación que dio de sí las leyes de Kepler, cuya explicación fue a su vez uno de los grandes motivos de la dinámica newtoniana, cuyas deficiencias desencadenaron a su vez ulteriores desarrollos. Sexta: *contrastabilidad*. Al no permitirse refugios sin fundamento mediante el añadido de *hipótesis ad hoc* inventadas para salvar la teoría en sus discrepancias con la observación, el sistema heliostático se ofrece a su refutación por datos empíricos. (Un modelo que no pretenda recoger más que datos puede ajustarse y reajustarse indefinidamente; en cambio, un modelo que recoja hechos no será reajutable de ese modo.) Además, el sistema heliostático se ha corregido varias veces: primero por Kepler, luego por el descubrimiento de que, a causa de las perturbaciones recíprocas de los planetas, las órbitas reales eran más complejas que las elipses de Kepler y hasta que las curvas de Ptolomeo. Séptima: *consistencia con la visión del mundo*. La nueva teoría, definitivamente incompatible con la cosmología tradicional, o sea, cristiana, era en cambio compatible con la nueva física, la nueva antropología y la nueva imagen naturalista del mundo. De hecho, el sistema copernicano fue el puente que enlazó finalmente la astronomía con la física; transformó los cielos en un objeto natural —una máquina— y mostró que la Tierra no era la base del mundo, su lugar más bajo, lo cual a la larga reforzó la dignidad del hombre. En resumen: aunque en sus principios las dos teorías era empíricamente equivalentes, con el tiempo fueron explicitándose diferencias empíricas y, desde el primer instante, las dos teorías fueron conceptualmente inequivalentes y se apoyaron en filosofías en conflicto.

Nuestro segundo ejemplo será la batalla sobre la teoría de Darwin acerca del origen de las especies, la cual triunfó de sus dos principales rivales —el creacionismo y el lamarkismo— luego de una lucha dilatada y dura que en algunos suburbios culturales del mundo no ha terminado todavía. El darwinismo no era entonces, ni mucho menos, perfecto, y no recogía los datos mejor de lo que podía hacerlo una teoría que afirmara una evolución dirigida por poderes sobrenaturales; pues para una cómoda teoría de este tipo sobrenaturalista todo dato sería un apoyo y no habría dato negativo. El darwinismo, por el contrario, contenía bastantes supuestos no probados, discutibles o hasta falsos, como “Los rasgos hereditarios resultan de la fusión de las contribuciones de los progenitores por partes iguales”, “Las poblaciones naturales son aproximadamente constantes” y “Los caracteres adquiridos, si son favorables, se transmiten a la descendencia”. La teoría no se había contrastado por observación directa, y aún menos mediante experimentación con especies vivas en condiciones de control; hechos tan favorables para Darwin como el desarrollo de líneas de descendencia de bacterias resistentes a los antibióticos, o de insectos resistentes al DDT, o el melanismo industrial de ciertas mariposas, o la competencia entre los individuos de poblaciones vegetales densas, no se observaron sino décadas después de la aparición de *The Origin of Species*. La teoría de Darwin era sospechosa-

mente metafórica, pues en parte había sido sugerida por la obra de Malthus sobre la población y la lucha por el alimento en las sociedades humanas. Además, la teoría de Darwin no era inductiva, sino que, como toda teoría auténticamente tal, contenía conceptos trasempíricos. Y por si esos pecados no fueran suficientes para condenar la teoría desde el punto de vista de los cánones metacientíficos que prevalecían en el siglo XIX, el sistema de Darwin era mucho más complejo que sus sistemas rivales: baste con comparar el postulado religioso de la creación especial de cada especie, o los tres axiomas de Lamarck (tendencia inmanente a la perfección, ley del uso y el desuso, herencia de los caracteres adquiridos) con la teoría de Darwin para apreciar la mayor complicación de ésta. La teoría de Darwin era mucho menos afín al sentido común y bastante más complicada, pues contenía, entre otros, los siguientes supuestos independientes: “Una tasa alta de aumento de la población conduce a una presión demográfica”, “La presión demográfica tiene como resultado la lucha por la supervivencia”, “En la lucha por la supervivencia triunfa el innatamente más dotado”, “Los caracteres favorables son hereditarios y acumulativos”, y “Los caracteres desfavorables acarrear la extinción”.

Los caracteres que aseguraron la supervivencia de la teoría de Darwin a pesar de sus deficiencias reales e imaginarias parecen haber sido los siguientes. Primero: *la consistencia externa*. La teoría, aunque incompatible con la biología y la cosmología tradicionales, era coherente con la nueva geología evolucionista y con la teoría evolucionista del sistema solar. Segundo: *la extensibilidad y la capacidad heurística*. La teoría se exportó fácil, audaz y fecundamente a la antropología física, la psicología, la historia y la lingüística; y se exportó también imprudentemente a la sociología (darwinismo social) y a la ontología (progresivismo de Spencer) Tercero: *la originalidad*. Aunque la idea de evolución era antigua, era nuevo el mecanismo explicativo propuesto por Darwin, y sugería nuevos puntos de partida en todos los campos relacionados, así como relaciones entre otros campos hasta el momento sin conectar. Cuarto: *contrastabilidad*. La teoría de Darwin suponía inobservables (por ejemplo, “presión demográfica”, y “evolución”), pero no conceptos inescrutables, como “Creación”, “fines”, “perfección inmanente”, etc. Y no suponía modos de conocimiento acientíficos, como la Revelación o la intuición metafísica. Quinto: *parsimonia de niveles*. Darwin no apelaba a ninguna entidad espiritual para explicar hechos de niveles inferiores, ni tampoco a mecanismos físico-químicos: la evolución se trataba en su propio nivel, el biológico, sin impedir que el estudio considerara al mismo tiempo las raíces presentes en los niveles celular y molecular. Sexto: *consistencia metafísica*. El darwinismo era compatible con el postulado genético —“Nada nace de la nada ni se disuelve en ella”— y con el principio de legalidad, violado, en cambio, por el dogma de la Creación. Pero era incompatible con la metodología inductivista dominante en la época, razón por la cual pareció sospechoso a muchos. Séptimo: *consistencia en cuanto a concepción del mundo*. La teoría era claramente compatible con la visión naturalista, agnóstica, dinamicista, progresiva e individualista de la intelectualidad liberal, que había recibido una profunda impresión ante los recientes cambios sociales y culturales (1789, cartismo, 1848). Esas varias virtudes del darwinismo compensaban de sobra sus deficiencias y permitían pensar que valía la pena corregir sus varios puntos deficientes: así se llegó a su fusión hacia 1930 con la moderna genética, para constituir la teoría sintética de la evolución.

Nuestro tercero y último ejemplo será la teoría del origen de los organismos como eslabones últimos de largas cadenas de reacciones químicas que empiezan con compuestos relativamente simples. Esta teoría está generalmente aceptada aunque no sistematiza ningún gran cuerpo de datos empíricos; además, no ha sido nunca contrastada hasta el momento, aunque ya se han hecho algunos conatos de contrastación. La opinión general es que esa teoría se confirmará un día u otro en el laboratorio, pero la tarea puede consumir generaciones enteras de investigadores dispuestos a arriesgar su tiempo en investigaciones a largo plazo. En cualquier caso, la teoría se acepta no porque tenga un gran apoyo inductivo, sino porque resuelve un problema importante utilizando leyes bien contrastadas de la química, la bioquímica y la biología, y porque se espera que oriente la síntesis de seres vivos en el laboratorio. Las virtudes que compensan la falta de apoyo empírico son en este caso las mismas que inclinaron al principio a muchas personas en favor de la teoría de Darwin: consistencia externa, fecundidad, originalidad, contrastabilidad, coherencia ontológica y compatibilidad con la *Weltanschauung* naturalista dominante en los círculos científicos contemporáneos.

Como puede apreciarse por los ejemplos recién discutidos, hay varios criterios que intervienen en la estimación de las teorías científicas y, particularmente, en la discusión de los méritos y los defectos de sistemas rivales. Es seguro que no todos esos criterios se mencionan explícitamente, por la misma razón, en gran parte, que no se mencionan todos los aspectos relevantes en la estimación de los hombres: por ignorancia y por hipocresía. Tal es particularmente el caso a propósito de los rasgos filosóficos de las teorías científicas. Pero si los criterios utilizados en el examen de las teorías fueran siempre explícitos, las disputas sobre los méritos y los defectos de teorías científicas rivales y de programas también rivales de investigación se parecerían menos que hoy a las disputas religiosas y políticas. Como es tarea del metacientífico el revelar los presupuestos, los criterios y las reglas de la investigación científica, convendrá presentar los principales criterios de la estimación de teorías de un modo explícito y ordenado. Los criterios pueden dividirse en formales, semánticos, gnoseológicos, metodológicos y ontológicos. Son:

Criterios formales

1. *Corrección formal*: las fórmulas de la teoría deben ser bien formadas, no arbitrarias.
2. *Consistencia interna*: las fórmulas de la teoría deben ser compatibles unas con otras (cf. sec. 7.6).
3. *Validez*: las derivaciones de la teoría deben seguir lo más exactamente posible los esquemas puestos por la lógica ordinaria (de dos valores) o la matemática.
4. *Independencia*: los conceptos primitivos y los supuestos primitivos de la teoría deben ser independientes (cf. sec. 7.6).
5. *Fuerza*: los supuestos iniciales de la teoría deben ser tan fuertes como lo permita la verdad (cf. sec. 5.7).

Las tres primeras condiciones son inexcusables, mientras que las restantes son desiderata que deben satisfacerse en la medida de lo posible.

Criterios semánticos

6. *Exactitud lingüística*: ambigüedad y vaguedad mínimas (cf. sec. 3.1).
7. *Unidad conceptual*: la teoría debe referir a un universo del discurso bien definido, y sus predicados deben ser semánticamente homogéneos, conexos y cerrados (cf. sec. 7.2).
8. *Interpretabilidad empírica*: la mayoría de los teoremas del nivel más bajo de la teoría deben ser interpretables empíricamente, acaso con la ayuda de otras teorías (cf. sec. 8.4).
9. *Representatividad*: cuanto más representacional o “mecanicista” sea una teoría (cuanto menos puramente fenomenológica), tanto más profundamente rebasará las apariencias, tanto más efectivamente guiará la nueva investigación y tanto más contrastable será (cf. sec. 8.5).

También las tres primeras condiciones de este grupo son imprescindibles. La matematización puede considerarse incluida en la condición 6, aunque también puede citarse separadamente. La representatividad es un desideratum que no debe prohibir la construcción de teorías del tipo de la caja negra, las cuales son indispensables en los estadios iniciales de la teoría y en la tecnología.

Criterios gnoseológicos

10. *Consistencia externa*: compatibilidad con el núcleo (no la totalidad) del conocimiento razonablemente contrastado; si es posible, continuidad con él (cf. sec. 7.6). Este requisito amplía a las teorías la exigencia de fundamentación formulada para hipótesis. Ejemplo: las teorías psicológicas deben ser compatibles con la fisiología y, de ser posible deben utilizar algunos de los resultados de ésta, explícitamente o como presupuestos.
11. *Alcance*: la teoría debe resolver con buena aproximación una parte considerable de los problemas que estimularon su construcción (cf. sec. 9.6). La mejor teoría será la que pueda dar respuesta a las preguntas más ambiciosas. Pero no debe intentar resolver todo problema posible: eso es cosa de la pseudociencia.
12. *Profundidad*: las teorías profundas, con mecanismos fundamentales y básicos, son preferibles, *ceteris paribus*, a sistemas superficiales que no corran el riesgo de afirmar ningún mecanismo inobservable (cf. sec. 8.5). Pero para tener un organismo en desarrollo necesitamos las dos cosas, huesos y piel; la mecánica estadística, por ejemplo, no nos permite prescindir de la termodinámica.
13. *Originalidad*: las teorías audaces, con llamativas (pero no arbitrarias) construcciones de alto nivel, con proyecciones antes inauditas y con capacidad de unificar campos aparentemente inconexos, son más valiosas que los sistemas muy seguros y a ras de tierra (cf. sec. 10.4). Sin duda hacen falta teorías que sistematicen lo ya sabido; pero las más fecundas revoluciones del conocimiento han consistido en la introducción de teorías que, lejos de limitarse a condensar lo sabido, nos obligaron a pensar de modo nuevo, a formular nuevos problemas y a buscar nuevas clases de conocimiento: en definitiva, teorías que eran originales.
14. *Capacidad unificadora*: capacidad de reunir dominios hasta el momento aisla-

dos. Ejemplos: la mecánica newtoniana (unificación de la mecánica terrestre y la mecánica celeste), la teoría electromagnética de Maxwell (unificación de las teorías de la electricidad, el magnetismo y la luz), y la teoría de la utilidad (aplicable a la psicología, la economía y la dirección de empresas).

15. *Potencia heurística*: una nueva teoría debe sugerir o guiar nueva investigación en su mismo campo o en campos vecinos. La fecundidad es a menudo un producto inesperado de la representatividad y de la profundidad, pero, en cambio, no está necesariamente vinculada a la verdad: teorías verdaderas pueden ser estériles por superficiales o sin interés, y teorías falsas pueden ser fecundas por dar lugar a la formulación de problemas interesantes y a la proyección de experimentos instructivos: piénsese en la fecundidad de los modelos mecanicistas de la vida y de la mente, y en la esterilidad de las doctrinas vitalista y espiritualista al respecto.
16. *Estabilidad*: la teoría no debe derrumbarse ante el primer dato nuevo, sino que debe ser capaz de crecer, hasta cierto punto, a lo largo de una misma línea: debe ser capaz de “aprender” de la nueva experiencia que no haya sido capaz de predecir. Pero las teorías rígidas tienden a sucumbir ante la primera evidencia desfavorable, porque se proyectaron para explicar servilmente *ex post facto* un manojo de datos. Ahora bien: la elasticidad o estabilidad de las teorías tiene sus límites: las teorías no deben ser insensibles a la nueva experiencia ni demasiado acomodaticias respecto de ésta; en particular, no pueden ser compatibles con fragmentos de evidencia que no lo sean entre sí. Las buenas teorías, como los buenos automóviles, no son las que no pueden chocar, sino las que tienen alguna protección.

Los dos primeros requisitos —la consistencia externa y el alcance— son necesarios. Los restantes son desiderata sólo satisfechos por las grandes teorías. La capacidad proyectiva no es una propiedad independiente: resulta del alcance y la originalidad.

Criterios metodológicos

17. *Contrastabilidad*: la teoría, sus presupuestos e incluso las técnicas utilizadas en su contrastación deben ser susceptibles de ésta; todos esos elementos tienen que ser accesibles al examen, el control y la crítica. La teoría en su conjunto tiene que ser confirmable y refutable, aunque puede contener algunas pocas hipótesis que, tomadas sueltas, sean sólo confirmables (cf. sec. 5.6).
18. *Simplicidad metodológica*: si las contrastaciones propuestas para la teoría son tan complicadas que no hay posibilidad de que sea refutada en un futuro previsible, entonces no será posible juzgar el alcance ni la estabilidad de la teoría. Pero la simplicidad metodológica no debe entenderse en un sentido absoluto: quiere decir meramente viabilidad tecnológica (en principio) de las contrastaciones empíricas.

La primera condición es necesaria; obsérvese que, a diferencia de lo que ocurre con hipótesis sueltas, exigimos que las teorías en su conjunto sean confirmables (aplicables) y refutables (de posible discrepancia con los datos, aunque no se conozca ningún caso

refutador). En cambio, el criterio de simplicidad metodológica no debe imponerse sino en medida limitada, porque una innovación tecnológica inesperada puede reducir los tiempos; además, la teoría misma puede presentar afirmaciones lo suficientemente exigentes como para estimular nuevos desarrollos tecnológicos dirigidos a contrastarla o aplicarla.

Criterios ontológicos

19. *Parsimonia de niveles*: la teoría debe ser parsimoniosa en sus referencias a niveles distintos del directamente afectado. En particular, no debe apelarse a los niveles superiores de la realidad si basta con los inferiores, ni tampoco hay que introducir niveles lejanos, de ser posible, sino a través de otros intermedios (cf. sec. 5.9).
20. *Consistencia con la concepción del mundo*: compatibilidad con la visión dominante o, al menos, con el núcleo común a las sostenidas por los científicos más competentes de la época.

La condición 19 es deseable, pero la parsimonia en la multiplicación de niveles no significa reducción a uno solo: puede ser necesario apelar a varios niveles para explicar un solo hecho, como la explosión de una bomba atómica o la composición de una buena novela. Por su parte, la consistencia desde el punto de vista de la concepción del mundo no es un desideratum, porque la concepción del mundo no es una entidad científica. Si se aplica rígidamente, este requisito puede matar la actividad teórica (y hasta a los teóricos personalmente) cuando no se conforma con una determinada concepción, especialmente si esta concepción es la de una escuela sostenida por el poder político. Pero este criterio elimina algunas teorías infundadas y, para bien o para mal, interviene en la estimación de las teorías científicas. El remedio no consiste en pedir la neutralidad de la ciencia respecto de las concepciones del mundo y las filosofías. En primer lugar, porque es imposible extirpar en los científicos los puntos de vista generales. En segundo lugar, porque las concepciones del mundo y las filosofías se encuentran entre los estímulos de la construcción de teorías –aunque muchas veces también entre sus inhibidores. No parece haber más que un modo de evitar que las concepciones del mundo y las filosofías desnaturalicen la ciencia: insertar coherentemente las teorías científicas en concepciones del mundo y en filosofías bien precisadas, controlar estas últimas mediante las primeras y evitar la cristalización interna y la guía externa (principalmente la política).

Los anteriores criterios no son todos independientes. Así, por ejemplo, la profundidad depende de la fuerza lógica y la potencia heurística depende de la profundidad, la representatividad, la originalidad y la capacidad unificadora. Tampoco son todos esos criterios puramente compatibles. El alcance es sin duda mayor en las teorías fenomenológicas y tradicionalistas que en las representacionales y revolucionarias. En tercer lugar, ninguno de aquellos requisitos puede probablemente satisfacerse de un modo completo. Por ejemplo, la corrección sintáctica y la exactitud lingüística pueden no ser perfectas en los estados iniciales; lo importante es que puedan mejorarse. En cuarto lugar, algunos de los anteriores requisitos tienen dos caras, sobre todo la simplicidad metodológica y la consistencia desde el punto de vista de la concepción del mundo. Por todas esas razones la estimación de las teorías se parece mucho a la estimación moral de las personas: en los

dos casos encontramos desiderata que son recíprocamente dependientes, otros que son incompatibles, otros que son ideales inalcanzables, y otros, por último, que son ambiguos. Ésta es una de las razones que permiten dudar de que algún día se inventen *procedimientos de decisión* (contrastaciones sin más valores finales que verdadero y falso) mecánicamente aplicables para practicar elecciones categóricas entre teorías rivales o modos diversos de proceder, como no sea en casos triviales. En este campo, las decisiones se toman sin el apoyo de *reglas* de decisión. Tal vez en la mayoría de los casos de rivalidad entre teorías científicas, la decisión puede requerir juicio científico y “sano juicio” filosófico, y no de un hombre ni de una comisión de sabios, sino de generaciones de especialistas y críticos competentes. Sería estúpido lamentarse de esa situación porque, en el fondo, la ciencia es una empresa social en la que no se trata de ir a la caza de la teoría perfecta y definitiva. *No puede* haber teoría factual perfecta: así lo muestran el proceso de construcción de las teorías, con sus necesarias simplificaciones y sus audaces saltos más allá de la experiencia, y la complejidad de la batería de procedimientos de contrastación de las construcciones teóricas. Dicho positivamente: siempre habrá lugar para teorías nuevas y mejores. No permitamos que ningún *ismo* nos impida intentar construirlas ni tampoco criticarlas.

Hemos discutido un conjunto de principios metacientíficamente que cumplen dos funciones: (i) restringen el número de las teorías dignas de consideración en cada estadio y (ii) constituyen una batería de contrastaciones no empíricas. Lo que buscan esas contrastaciones es la *verdad* factual, o sea, la conformidad con los hechos. No hay contrastación única —y aún menos empírica— de la verdad factual: cada uno de los requisitos anteriores es un criterio no-empírico de la verdad factual. Para estimar el grado de verdad de las teorías factuales tenemos que usarlos todos, junto con contrastaciones empíricas múltiples (numerosas y variadas) y duras. Cuando se averigua que una teoría es aproximadamente verdadera (aspecto semántico), se adopta o acepta normalmente (aspecto pragmático) y, por tanto, se cree (aspecto psicológico) en alguna medida. Pero también pueden adoptarse teorías aproximadamente falsas para dominios restringidos o con fines tecnológicos, aunque sin creerlas, por lo menos si se sabe que son aproximadamente falsas. Las teorías se aceptan *faute de mieux*. Y esto explica por qué el uso o la aceptación —que es una categoría pragmática— no se presenta entre los anteriores criterios de la verdad de las teorías.

Un análisis más sutil debería descubrir más criterios de estimación, y el progreso de la ciencia y de la metaciencia corregirá probablemente algunos de los criterios habituales e introducirá otros nuevos. El gran número de criterios de estimación puede parecer confusionario al estudiante acostumbrado a leer versiones de manual con simples condiciones veritativas pensadas para proposiciones aisladas. Pero la realidad es que esas manualescas “condiciones veritativas” no existen, no se dan para los sistemas de hipótesis que se presentan realmente en la ciencia real: por tanto, no hay criterios de decisión, ni indicaciones que permitan sospechar que pueda haberlos. Lo más que puede garantizarse es la existencia de algún conjunto de *controles* numerosos y casi independientes, los cuales son, cada uno de ellos, insuficientes para asegurar la verdad completa, pero pueden, juntos, detectar la verdad parcial. Lo importante a propósito de esos criterios o contrastaciones no es que suministren reglas de decisión sobre la aceptación o recusa-

ción de las teorías científicas, como si éstas fueran huevos frescos o ya pasados: aquellos criterios no pueden dar un rendimiento de esta naturaleza. Lo que sí pueden hacer, y hacen en efecto, es mostrar la medida en la cual tiene éxito una teoría factual, y la medida en la cual fracasa. Con eso pueden ocasionalmente indicar nuevas líneas de investigación verosímilmente rentables.

Así llegamos al final de este libro. Los anteriores puntos de vista acerca de la contrastación de teorías discrepan de la idea, muy difundida, de que las teorías se contrastan más o menos como los fertilizantes agrícolas, lo que tiene como consecuencia el que la entera metodología de la ciencia se considere reducible a la estadística. También están en conflicto esos puntos de vista con las diversas escuelas filosóficas, ya por el mero hecho de que cada escuela se aferra a un conjunto de tesis fijas, y no a la búsqueda de un objetivo cada vez más ambicioso, pero alcanzable, y a un método autocorrectivo. Sin embargo, no hay duda de que para construir la imagen de la investigación científica presentada en este libro hemos utilizado unas cuantas contribuciones clave y capitales de varias tendencias filosóficas incompatibles entre ellas. Hemos tomado del realismo las tesis de que existe un mundo externo, de que la investigación científica aspira a refigurararlo y de que ésa es una tarea infinita, porque toda refiguración del mundo ignora algunos rasgos de él y le añade otros que son ficticios. Hemos tomado del racionalismo las tesis de que esas imágenes son simbólicas, no icónicas, y, por tanto, creaciones originales, no fotografías; que la lógica y la matemática son *a priori*, y que los signos carecen de significación cuando no representan ideas. Y del empirismo hemos recogido las tesis de que la experiencia es una piedra de toque de las teorías y los procedimientos factuales, que no puede haber en ellos certeza, y que la filosofía debe adoptar el método y los criterios de la ciencia.

La posición alcanzada es por tanto una especie de síntesis del racionalismo y el empirismo, pero (esperamos) sin el extremismo ni la rigidez que caracterizan toda escuela filosófica. Es una versión del *realismo científico*. Pero éste se parece más a un movimiento que a una escuela, ya que no es un *ismo* más con pretensión de eternidad. Los *ismos* filosóficos son el cementerio de la investigación, porque ellos tienen ya todas las respuestas, mientras que la investigación, científica o filosófica, consiste en luchar con problemas rechazando las constricciones dogmáticas. Y demos la bienvenida a toda otra opinión que facilite una exposición más cuidadosa de la investigación científica *in vivo* o que la promueva más eficazmente, porque tales son las contrastaciones últimas que debe superar toda filosofía de la ciencia.

Problemas

15.7.1. Mostrar cómo se llegó a una decisión entre dos teorías científicas rivales, como, por ejemplo, las de los pares siguientes: teoría cinética del calor-teoría del calórico; teoría del flogístico-teoría de la oxidación; teoría de la acción a distancia-teoría de la acción inmediata (en la electrodinámica o en la teoría de la gravitación), teoría del continuo-teoría atómica; creacionismo-evolucionismo; teoría de la generación espontánea-teoría seminal. *Problema en lugar de ése*: Mientras que los biólogos, los psicólogos y los sociólogos se dan cuenta de la multiplicidad de los puntos

de vista teóricos o tendencias presentes en sus respectivos campos, y, por tanto, de la importancia de la discusión y la crítica, los físicos suelen negar la existencia de dicha variedad en la física. ¿Es verdad que no hay tendencias en física? Si es verdad, ¿a qué se debe? Si no es verdad, ¿cómo puede explicarse la resistencia de los físicos a reconocer dicha variedad? ¿Por ignorancia, ingenuidad, vergüenza? ¿Por la influencia de una filosofía baconiana de la ciencia para la cual lo que importa en la ciencia es el hecho y no la teoría? ¿Porque los que se desvían de la tendencia principal son siempre una minoría reducida, y nadie desea nadar contra la corriente?

15.7.2. Averroes, y Copérnico luego, sostuvieron que la teoría astronómica debe satisfacer dos exigencias: (i) debe dar razón de las apariencias, y (ii) debe estar de acuerdo con la física. ¿Qué sistema del mundo “concordaba” mejor con la física aristotélica: el de Ptolomeo o el de Copérnico? ¿Y con la física newtoniana? ¿Y qué papel tuvieron —si tuvieron alguno— consideraciones de consistencia externa en la estimación de dichos “sistemas del mundo”? *Problema en lugar de ése*: La teoría corpuscular de la luz propuesta por Newton se criticó a principios del siglo XIX desde puntos de vista opuestos: por *Naturphilosophen* como Goethe y por físicos como Young y Fresnel. ¿Qué críticas eran esas?

15.7.3. Comentar el artículo de B. Barber “Resistance by Scientists to Scientific Discovery”, reimpreso en B. Barber y W. Hirsch (eds.), *The Sociology of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, en el cual el autor indica los siguientes factores internos de la resistencia al cambio científico: (i) prestigio de una vieja teoría; (ii) prestigio de una tesis metodológica; (iii) ideas religiosas de los científicos; (iv) escasa categoría profesional de los innovadores; (v) espíritu de casta de los especialistas; (vi) escolasticismo. *Problema en lugar de ése*: Examinar algunas de las discusiones recientes sobre la crisis de fundamentos de la mecánica cuántica, la biología evolutiva, la microeconomía, o la historia.

15.7.4. Comentar la siguiente idea de G. Spencer Brown, en *Probability and Scientific Inference*, Londres, Longmans, Green & Co., 1957, p. 23: Un mismo conjunto de observaciones puede explicarse por lo menos de dos modos: o bien en un lenguaje científico, o bien en un lenguaje que hable de milagros, magia, espíritu, etc. “Algunas personas querrían preguntar cuál de esas dos clases de descripción es la verdadera; pero esa pregunta no tiene sentido. Las dos descripciones son modos de decir lo que observamos y, por tanto, ambas pueden ser verdaderas.” ¿Se sostiene esa afirmación si se añaden los requisitos de que las teorías tienen que ser contrastables, que incluso las contrastaciones tienen que serlo, y que no es en principio aceptable ninguna teoría que contradiga básicos principios científicos, so pena de caer en contradicción? ¿Y es verdad que las teorías científicas sean descripción de observaciones? *Problema en lugar de ése*: La hipótesis einsteiniana de los *quanta* de luz se recibió sin ningún entusiasmo, pese a que explicaba el efecto fotoeléctrico, porque entraba en conflicto con la teoría ondulatoria de la luz. El propio Einstein llamó modestamente a su teoría “un punto de vista heurístico”. Estudiar ese conflicto y su posible solución mediante la construcción de una electrodinámica cuántica.

15.7.5. ¿Deben estimarse las teorías aislándolas de la dimensión y la profundidad del sistema de problemas que las origina? En particular, ¿debe siempre preferirse una teoría modesta, pero precisa, a una teoría ambiciosa, pero comparativamente imprecisa? Recordar la discusión sobre el volumen de las teorías, sec. 9.6. *Problema en lugar de ése*: Examinar la tesis de que las computadoras de la próxima generación serán capaces de formar nuevos conceptos e hipótesis originales. ¿Es razonable profetizar que podrán inventar algoritmos, de modo que podrán autoprogramarse? ¿Qué fundamento hay para profetizar que las calculadoras rebasarán las meras generalizaciones inductivas del tipo corriente de satisfacción de una curva? ¿Qué cosa, si no es un cerebro empapado por una múltiple herencia cultural, puede inventar las construcciones típicas de las teorías propiamente dichas? ¿Y qué clase de examen de teorías podrían dar de sí sistemas desprovistos de toda tendencia filosófica?

15.7.6. Elaborar e ilustrar el siguiente esquema relativo a las variedades de discrepancias en el seno de la comunidad científica: (i) Discrepancia lingüística: debida a la ambigüedad, la vaguedad, el cambio inadvertido de significación o de contexto, etc. (ii) Discrepancia sobre los resultados de la observación: debida al uso de medios de observación diferentes o a diferentes interpretaciones de los datos. (iii) Discrepancia sobre el valor veritativo de las hipótesis y las teorías. (iv) Discrepancias de estimación: diversa estimación de los problemas, las líneas de investigación, las técnicas, los resultados, etc. (v) Discrepancia filosófica.

15.7.7. Examinar las principales corrientes en la psicología contemporánea, en particular la informática (“La mente es un conjunto de programas de computadora”) y la neurobiológica (“la mente es un conjunto de procesos cerebrales”). Averiguar en particular, los tipos de datos de que se valen, las relaciones que tienen con disciplinas vecinas, y su grado de profundidad y poder explicativo. Determinar también qué parentesco tienen con las ontologías tradicionales, el idealismo y el materialismo. *Problema en lugar de ése*: Discutir el *principio de correspondencia* de N. Bohr, según el cual los resultados de la teoría cuántica para sistemas macroscópicos tienen que aproximarse a los resultados de la teoría clásica. ¿Puede extenderse ese principio a otros campos? ¿Cómo se relaciona con el principio de consistencia externa? ¿Funciona ese principio como una contrastación respecto de la verdad? ¿Es un principio científico o metacientífico?

15.7.8. Examinar la tesis constructivista-relativista de que no hay criterios objetivos para escoger entre teorías científicas rivales, porque la verdad objetiva no existe. Cf. su principal órgano de expresión, *Social Studies of Science*, y M. Bunge, *Sociología de la ciencia*, Buenos Aires, Sudamericana, 1998.

15.7.9. El número de problemas que puede tratar (formular y resolver) una teoría podría ser un criterio para la estimación de teorías. Una teoría puede ser buena en muchos aspectos, pero tratar un área reducida de problemas. El dominio de los hechos que cubre una teoría puede ser restringido porque la teoría no pueda enfrentarse con ellos en principio o en la práctica (debido, por ejemplo, a dificultades de cálculo). ¿Es ése un rasgo independiente de las teorías, o se sigue de algunos otros rasgos estudiados en el texto? *Problema en lugar de ése*: ¿Es verdad que hay teorías rivales “incomensurables” (incomparables), y que no hay criterios objetivos para elegir entre ellas, como sostienen T. S. Kuhn y P. K. Feyerabend?

15.7.10. Elaborar e ilustrar el siguiente esquema relativo a las clases de novedad que puede presentar una teoría. (i) La teoría es una reformulación de una teoría ya conocida. (ii) La teoría generaliza una teoría ya conocida. (iii) La teoría es formalmente análoga a una teoría conocida. (iv) La teoría consiste en la fusión de varios fragmentos de teorías conocidas. (v) La teoría es completamente nueva porque contiene conceptos radicalmente nuevos o porque relaciona conceptos conocidos de un modo sin precedentes. *Problema en lugar de ése*: Discutir e ilustrar la distinción establecida por T. S. Kuhn en *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1962, entre investigación científica *normal* —que satisface algún esquema o paradigma— e investigación *extraordinaria*, la cual produce una revolución científica que consiste en la sustitución de los paradigmas dominantes por otros enteramente nuevos que permiten plantear problemas también nuevos. Dilucidar el concepto de paradigma y relacionarlo con los conceptos de teoría, conocimiento básico y “espíritu de la época”.

BIBLIOGRAFÍA

- Baker, S. F., *Induction and Hypothesis*, Ithaca, Nueva York, Cornell University Press, 1957.
- Bogdan, R. J. (ed.), *Local Induction*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1973.
- Bunge, M., *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, caps. 7 y 9.
- (ed.), *The Critical Approach*, Nueva York, The Free Press, 1964, parte I, especialmente los artículos debidos a P. Bernays, J. Giedymin y N. W. N. Watkins.
- Carnap, R., *Logical Foundations of Probability*, Chicago University Press, 1950.
- Czerwinski, Z. "Statistical Inference, Induction and Deduction", *Studia logica*, 7, 243, 1958.
- Fisher, R. A., *The Design of Experiments*, 6a. ed., Edinburgo, Oliver and Boyd, 1951.
- Goodman, N., *Fact, Fiction & Forecast*, Londres, Athlone Press, 1954.
- Harris, M., *The Rise of Antropological Theory*, Nueva York, Thomas Y. Crowell, 1968.
- Hume, D., *A Treatise of Human Nature*, 1739, varias ediciones, libro I, parte III, sev. vi.
- Jeffreys, H., *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1957.
- Kemphorne, O., y J. L. Folks, *Probability, Statistics and Data Analysis*, Ames IO, Iowa State University Press, 1971.
- Keynes, J. M., *A Treatise on Probability*, Londres, Macmillan, 1929.
- Kleinmetz, B., (ed.), *Formal Representation of Human Judgment*, Nueva York, Wiley, 1968.
- Kneale, W., *Probability and Induction*, Oxford, Clarendon Press, 1949.
- Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1962.
- , *The Essential Tension*, Chicago, University of Chicago Press, 1977.
- Kyburg, H. E. Jr., y E. Nagel (eds.), *Induction: Some Current Issues*, Middletown Conn., Wesleyan University Press, 1963.
- Lakatos, I., y A. Musgrave (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, 1970.
- Lakatos, I. (comps.), *Problems of Inductive Logic*, Amsterdam, North-Holland, 1968.
- Merton, R. K., *Social Theory and Social Structure*, ed. rev., Glencoe Ill, Free Press, 1959.
- Pólya, G., *Mathematics and Plausible Reasoning*, Princeton, Princeton University Press, 1954, 2 vols.
- Popper, K. R., *The Logic of Scientific Discover*, 1935, Londres, Hutchinson, 1959.
- Rescher, N., *Objectivity*, Notre Dame, University of Notre Dame Press, 1997.
- Trigger, B. G., *A History of Archaeological Thought*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- , *Sociocultural Evolution: Calculation and Contingency*, Oxford, Blackwell, 1998.
- Wright, G. H. von, *The Logical Problem of Induction*, 2a. ed., Oxford, Blachvell, 1957.

EPÍLOGO

FINES Y MEDIOS DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

Todo auténtico filósofo de la ciencia tiene dos finalidades: la una teórica y la otra práctica. La primera es entender la investigación científica y algunos de sus resultados. La otra es ayudar a los científicos a afilar conceptos, refinar teorías, examinar métodos, poner al descubierto supuestos filosóficos, participar efectivamente en controversias científicas y sembrar dudas acerca de hallazgos que parecen incontrovertibles. Ambas finalidades se complementan.

Para alcanzar estas metas, los filósofos han adoptado tradicionalmente uno de estos dos métodos: el directo de mirar de cerca el quehacer científico, y el indirecto de leer lo que hacen sus colegas. En esta obra se ha adoptado el primer método. Sin duda, algunas de las opiniones de los filósofos de la ciencia son interesantes y merecen ser analizadas. Pero ésta es tarea del historiador antes que del filósofo de la filosofía de la ciencia. El epistemólogo creador no es un espectador, sino un partícipe de la faena científica.

Para comprender cómo obra el investigador científico, hay que intentar averiguar lo que pasa en su cabeza. Y para lograr esto es necesario leer la literatura científica original, en lugar de contentarse con leer textos de divulgación. De lo contrario, no se podrá hacer contribuciones originales y verdaderas al conocimiento acerca del conocimiento científico. Tampoco se podrá ayudar a los investigadores científicos a resolver los problemas filosóficos que saltan cada vez que abordan tareas profundas y difíciles, tales como especular con fundamento sobre los orígenes de la vida o de la religión y buscar los mecanismos de la creatividad o del cambio social.

El enfoque directo es gratificante, porque puede revelar la manera en que realmente obran los investigadores científicos, así como lo que les motiva, además del reconocimiento de sus pares. Este enfoque confirma algunas perogrulladas que a menudo se pierden en las alturas enrarecidas de la filosofía pura, así como en la metaciencia “posmoderna” o punk. Algunas de esas verdades evidentes son las siguientes: que los científicos exploran el mundo para averiguar cómo funciona realmente; que para llevar a cabo tal exploración inventan, analizan y discuten ideas, instrumentos y procedimientos, y ejecutan cálculos y experimentos; que ponen a prueba todo lo que crean o usan; que siempre parten de un cuerpo de conocimientos, sólo algunos de los cuales cuestionan, y que intentan enriquecer; que habitualmente se sujetan a rigurosas normas de conducta; y que, aun cuando ocasionalmente la investigación básica se usa con malos fines en otros campos, la finalidad de la investigación básica no es la utilidad ni el poder, sino la verdad objetiva, aunque sólo sea aproximada.

Esta concepción de la investigación básica como búsqueda desinteresada y disciplinada de la verdad es particularmente importante en una época en que, como la nuestra, muchos sospechan que la ciencia no es sino un instrumento de dominación y destrucción.

Esta sospecha deriva de dos confusiones: las de la ciencia con la técnica, y de ésta con los negocios y la política. Por supuesto que la técnica moderna toma la ciencia de prestado, y que la técnica es usada tanto por empresas como por el Estado. Pero ¿quiénes diseñan artefactos útiles o destructivos, desde drogas farmacéuticas y lavarropas hasta armas y técnicas de persuasión masiva? Son técnicos, no científicos. Y quienes manufacturan o usan tales artefactos son empresas o gobiernos, no técnicos.

Por consiguiente, los culpables del mal uso de la técnica son personas que abusan del poder económico o político, no científicos. Estos últimos carecen de poder y buscan el conocimiento por el conocimiento mismo, lo mismo que casi todos los artistas aspiran a hacer arte por el arte. Cuando no lo hacen, sus colegas los acusan de mercenarios o falsarios. Por ejemplo, si un investigador es pescado cometiendo un fraude, es condenado al ostracismo científico; y si ama más el poder que la verdad, termina desempeñando cargos administrativos.

Sin embargo, sería ingenuo creer que la investigación científica se hace en un vacío social, de modo que su historia puede verse como una sucesión de ideas desencarnadas.

En efecto, los antropólogos, sociólogos e historiadores de la ciencia han mostrado concluyentemente que la ciencia interactúa con la técnica y la ideología y, a través de ésta, con la economía y la política. Por ejemplo, las investigaciones sobre la relación entre estado de ánimo y neurotransmisores, tales como la serotonina y la dopamina, enriquecen no sólo a la neurociencia y a la psicología, sino también a la farmacología y la psiquiatría. A su vez, estas últimas atraen el interés de la industria farmacéutica, la que está sujeta a regulaciones estatales. En cambio, las investigaciones puras, sin perspectivas inmediatas de aplicación, pueden ser sofocadas por gobiernos miopes o temerosos de posibles implicaciones ideológicas. Por ejemplo, las investigaciones sobre el origen de la vida, la naturaleza neurofisiológica de la mente, la conexión entre religión y política, las virtudes y defectos del mercado, o la historia del partido en el poder son descorazonadas o aun prohibidas por ciertos gobiernos.

En suma, la ciencia, la técnica, la ideología, la economía y la política pueden imaginarse como un pentágono cuyos lados simbolizan los flujos de información o de influencia, ya estimulante, ya inhibidora. Los filósofos, antropólogos, sociólogos o historiadores de la ciencia o de la técnica que aspiren a ser tanto veraces como útiles se ubicarán en el centro de ese pentágono. Sólo así evitarán pasar por alto o confundir cualquiera de sus cinco lados. Y sólo desde el centro lograrán construir una visión realista de la ciencia o de la técnica. Si se quedan fuera del pentágono, sólo podrán alabarlos o atacarlos sin fundamento.

La postura filosófica adoptada en esta obra es el realismo científico. Éste es una combinación de dos tradiciones filosóficas clásicas y rivales: el racionalismo y el empirismo. El realismo científico alienta la construcción de teorías capaces de explicar datos empíricos, así como la búsqueda de éstos a la luz de teorías. Por consiguiente, descorazona la especulación desenfrenada tanto como la recolección ciega de datos. Las teorías científicas debieran de ser sujetas a pruebas de realidad, y algunos datos debieran de ser pertinentes a teorías de alto nivel. Por ejemplo, los científicos sociales ambiciosos no se conforman con registrar hechos sociales, sino que imaginan mecanismos que los expliquen, y ponen a prueba sus teorías con ayuda de indicadores sociales que hacen de puente entre teorías y datos.

El realismo científico subraya la naturaleza constructiva de las ideas, en particular los conceptos, problemas, reglas y diseños experimentales, pero niega que ellas sean arbitrarias. Y hace lugar a convenciones, tales como las definiciones, pero insiste en que las teorías científicas debieran representar a sus referentes con la mayor fidelidad posible. Exige la justificación, conceptual o empírica, de todo cuanto pretenda pasar por conocimiento. Desestima tanto la especulación arbitraria como el dogma. Sin embargo, el realismo científico es tan meliorista como falibilista. Es decir, reconoce pocas verdades definitivas, salvo en lógica y matemática; pero, al mismo tiempo, confía en que es posible corregir errores y avanzar las fronteras actuales del conocimiento. También es científicista en afirmar que el enfoque científico es el que mejor conduce a verdades generales y profundas, en particular leyes científicas. Finalmente, el realismo científico es sistemático: ubica toda cuestión y toda respuesta en algún sistema, tal como una descripción, clasificación, teoría o proyecto de investigación.

El realismo científico rivaliza con las principales escuelas en que se divide la filosofía del conocimiento. En particular, choca tanto con el racionalismo radical de Leibniz como con el irracionalismo de Heidegger; con el escepticismo de Hume como con el subjetivismo de Husserl; con el intuicionismo de Bergson como con el pragmatismo de James; con el empirismo radical de Berkeley como con el empirismo lógico de Reichenbach; con la filosofía del lenguaje ordinario de Wittgenstein como con el racionalismo crítico de Popper; con el convencionalismo de Duhem como con el constructivismo-relativismo de Latour. Echemos un rápido vistazo a las diferencias más notables entre estas escuelas y el realismo científico.

A primera vista, parecería que todo problema del conocimiento puede abordarse recurriendo a una sola de las tres “fuentes” clásicas del conocimiento: la razón, la experiencia y la intuición. Por ejemplo, mientras el matemático sólo usa la razón, los problemas antropológicos exigen la observación. Pero, de hecho, el matemático se guía por su intuición u “olfato”, aunque no se fía de éste. Y la observación no basta en la antropología ni en ninguna otra ciencia factual. En efecto, como ya lo observara Darwin, el trabajo empírico vale poco a menos que sea guiado por alguna hipótesis. Al fin de cuentas, para encontrar algo debemos saber de antemano qué buscar, dónde puede hallarse y cómo reconocerlo si tropezamos con ello. Y la combinación de datos particulares con generalizaciones, así como la estimación del valor de ambos, requiere de algún análisis racional, así como algún “olfato” cultivado por el análisis.

Lo que precede basta para recusar toda suerte de irracionalismo, desde el neoplatonismo hasta el existencialismo y el relativismo-constructivista “posmoderno”, pasando por el intuicionismo, la fenomenología y el pragmatismo. Pero esto no equivale a negar la importancia de factores no racionales en la investigación (a diferencia de sus resultados depurados), ni el valor de la corazonada. Sólo afirmo que el irracionalismo es peor que inútil para conocer: que es el principal obstáculo a la exploración de lo desconocido (en particular, la investigación de la pasión, la intuición y la superstición).

Nótese que también el empirismo radical es una forma de irracionalismo, aun cuando se lo combine con la elaboración de datos. En efecto, la experiencia científica —la observación, la medición y el experimento— es razonada, ya que se la diseña, planea e interpreta a la luz de hipótesis. Más aún, los datos que resultan de dichas operaciones empíricas

no son más sacrosantos que las conjeturas. En efecto, casi todos ellos están afectados de errores de algún tipo (sistemáticos o accidentales), los que pueden corregirse con ayuda de teorías, análisis estadísticos o nuevos diseños experimentales.

En resolución, la investigación científica combina la razón con la experiencia. Siendo así, necesitamos una teoría del conocimiento que combine los ingredientes sanos del racionalismo con los del empirismo. Semejante síntesis ha sido intentada varias veces. Por ejemplo, Kant trató de unir el racionalismo de Leibniz con el empirismo de Hume. Pero, en mi opinión, eligió las mitades erradas de ambos: el apriorismo leibniziano y el fenomenismo humeano. Para peor, las unió con el intuicionismo. Y para colmo, decretó que la psicología y las ciencias sociales nunca se harían ciencias, alegando que son refractarias al cálculo y al experimento. No debe sorprender, pues, que la filosofía de Kant haya sido inútil en las ciencias exactas y naturales, y contraproducente en las sociales.

Otra tentativa de sintetizar el racionalismo con el empirismo fue el empirismo lógico o neopositivismo de la Escuela de Viena. Esta escuela admitió la naturaleza formal y por lo tanto *a priori* de la matemática, pero no propuso ninguna filosofía viable de la matemática. Reconoció la necesidad de teorizar en las ciencias, pero intentó definir todos los conceptos teóricos en términos de conceptos empíricos. Además, temió a la metafísica u ontología al mismo tiempo que favoreció la metafísica fenomenista. No vio que quienes exploran el mundo no pueden prescindir del postulado ontológico de que éste existe con independencia del sujeto conocedor. No debiera sorprender, por consiguiente, que ya no queden positivistas lógicos en la comunidad científica. Sin embargo, a la hora de examinar problemas metateóricos, casi todos los científicos naturales y sociales adoptan una actitud positivista. Por ejemplo, pretenden que todos los conceptos científicos debieran definirse en términos de operaciones empíricas. Lo único que queda de esta exigencia absurdamente restrictiva es el requisito razonable de que los constructos debieran anclarse, en algún momento, en los datos por la vía de indicadores.

La tercera tentativa en la misma dirección fue la de Popper. Éste corrigió algunos errores empiristas, en particular el mito de que siempre se empieza por observar y luego se hacen inferencias controladas por la lógica inductiva. Popper mostró la inexistencia e imposibilidad de la lógica inductiva. Pero a su vez propuso otros mitos, tales como que la investigación científica es un proceso ordinario de ensayo y error idéntico al que siguen los animales inferiores; que uno jamás debiera formular preguntas de la forma “¿Qué es x ?”; que los resultados favorables no valen nada; que el único objetivo de las operaciones empíricas es intentar refutar teorías; que todas las hipótesis –incluso las bien corroboradas, tales como que la Tierra gira en torno al Sol, y que todos los organismos contienen ADN– pueden resultar falsas; que hay que abstenerse de hablar del significado; que es necesario pensar el conocimiento sin sujeto que conoce, y que la ciencia es ajena a la metafísica. Más aún, la adhesión de Popper al dualismo psiconeural (o mente-cuerpo) es incompatible con la neuropsicología. Y su defensa del individualismo metodológico en los estudios sociales, aunque útil para desinflar el holismo, ha descorazonado el estudio de sistemas sociales, que es precisamente el cometido de las ciencias sociales. Por estos motivos, tampoco la epistemología de Popper ha logrado unir las partes válidas del racionalismo y del empirismo.

Finalmente, está el constructivismo-relativismo, o la opinión de que todo “hecho científico”, desde la molécula hasta el terremoto, es construido por alguna comunidad científica, por lo cual no puede haber verdades objetivas y transculturales, sino solamente convenciones locales. Esta opinión, actualmente difundida en las facultades de humanidades, tiene un grano de verdad, a saber, la tesis de que es preciso ubicar la investigación científica en su contexto social. Pero el resto es absolutamente falso. Resulta de confundir el hecho objetivo con nuestras ideas acerca del mismo y de identificar la influencia del medio social sobre el investigador con el contenido de sus ideas. El constructivismo-relativismo no ofrece ninguna prueba de su tesis de que toda ciencia, incluso la matemática, tiene un contenido social. No da cuenta de las pruebas empíricas, sin las cuales la ciencia factual no sería tal. Ignora el hecho de que todos los investigadores proceden sobre la hipótesis de que las verdades y los métodos de la ciencia carecen de sexo, raza, clase social y contenido político: que no hay ciencia masculina ni femenina, blanca ni negra, burguesa ni proletaria. Por último, pese a toda su charla sobre el contexto social, el constructivismo-relativismo no explica su propio éxito entre los estudiantes de humanidades ni su fracaso entre los estudiosos de las ciencias.

Debido a que las epistemologías más conocidas han fracasado en su tentativa de dar cuenta de la investigación científica, he tenido que construir mi propia versión del realismo científico, expuesta en este libro. Los lectores que se interesen por tópicos especiales en la filosofía de la ciencia podrán consultar algunas de las obras que se listan a continuación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bunge, Mario, 1959, *Metascientific Queries*, Springfield Ill., Charles C. Thomas.
- , 1963, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs NJ, Prentice-Hall.
- , 1973, *Method, Model, and Matter*, Dordrecht-Boston, Reidel.
- , 1974, *Sense and Reference*, Dordrecht-Boston, Reidel.
- , 1974, *Interpretation and Truth*, Dordrecht-Boston, Reidel.
- , 1977, *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel.
- , 1978, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel.
- , 1979, *A World of Systems*, Dordrecht-Boston, Reidel.
- , 1980, *Materialismo y ciencia*, Barcelona, Ariel.
- , 1983a, *Exploring the World*, Dordrecht, Reidel.
- , 1983b, *Understanding the World*, Dordrecht, Reidel.
- , 1985a, *Philosophy of Science and Technology*, parte I, *Formal and Physical Sciences*, Dordrecht, Reidel.
- , 1985b, *Philosophy of Science and Technology*, parte II, *Life Science, Social Science and Technology*, Dordrecht, Reidel.
- , 1985c, *El problema mente-cerebro*, Barcelona, Ariel.
- , 1989, *Ethics*, Dordrecht-Boston, Reidel.
- , 1996a, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven CT, Yale University Press [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

- , 1996b, *Intuición y razón*, Buenos Aires, Sudamericana.
- , 1996c, *Ética, ciencia y técnica*, Buenos Aires, Sudamericana.
- , 1997a, *Epistemología*, México-Madrid, Siglo XXI.
- , 1997b, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana.
- , 1997c, *Ciencia, técnica y desarrollo*, Buenos Aires, Sudamericana.
- , 1998a, *Social Science Under Debate*, Toronto, University of Toronto Press.
- , 1998b, *Sociología de la ciencia*, Buenos Aires, Sudamericana.
- , 1998c, *Dictionary of Philosophy*, Buffalo NY, Prometheus Books [*Diccionario de filosofía*, México, Siglo XXI, 2000].
- , 1999a, *Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana.
- , 1999b, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transaction.
- y Rubén Ardila, 1988, *Filosofía de la psicología*, Barcelona, Ariel.
- , Mahner y Martin, 1997, *Foundations of Biophilosophy*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer [*Fundamentos de la biofilosofía*, México, Siglo XXI, 2000].

SÍMBOLOS ESPECIALES

$A \subseteq B$	el conjunto A está incluido en el conjunto B .
$A \cup B$	la unión o suma lógica de los conjuntos A y B .
$A \cap B$	la parte común, o producto lógico, de los conjuntos A y B .
$a \in B$	el individuo a está en o pertenece al conjunto A .
$Card(A)$	la cardinalidad (numerosidad) del conjunto A .
$A \times B$	el producto cartesiano de los conjuntos A y B .
$Cn(A)$	la(s) consecuencia(s) del conjunto de supuestos A .
$=_{df}$	equivale por definición a.
$Df.$	definición.
$(\exists x)$	algunos x (o hay por lo menos un x tal que).
e	dato empírico.
e^*	traducción del dato empírico e a un lenguaje semiempírico y semiteorético.
h	hipótesis.
$m(\dot{r})$	valor medido de $\dot{r}$.
$\bar{m}(\dot{r})$	valor promedio (o medio) de un conjunto de valores medidos de $\dot{r}$.
$P \multimap T$	T presupone a P .
p, q	proposiciones o enunciados cualesquiera (sin especificar).
$P(x)$	x tiene la propiedad P (o x es un P).
$\{x \mid P(x)\}$	el conjunto de los x tales que cada x es un P .
$p \vee q$	p o q (disyunción no excluyente).
$p \& q$	p y q (conjunción).
$p \rightarrow q$	si p , entonces q (condicional o implicación).
$p \leftrightarrow q$	p si y sólo si q (bicondicional o equivalencia).
Σ_i	suma sobre i .
t	teorema, consecuencia contrastable.
t^*	traducción de t a un lenguaje semiempírico o semiteorético.
T	teoría.
$A \vdash t$	A , por tanto t (o A tiene como consecuencia t , o t se sigue lógicamente de A).
$\emptyset$	el conjunto vacío.
U	el conjunto universal.
x	un individuo cualquiera (sin especificar).
(x)	para todo (x) .
$\langle x, y \rangle$	el par ordenado de los elementos x, y .

ÍNDICE ONOMÁSTICO

- Ackerman, W., 391
 Ackoff, R. L., 39, 193, 586
 Acton, H. B., 539
 Adams, J. C., 224
 Adler, I., 669
 Adrian, E. D., 734
 Agassi, J., 193, 586
 Agazzi, E., 382, 512,
 Ajdukiewicz, K., 142
 Albert, H., 471
 Alexander, S., 186
 Allen, F. R., 539
 Ampère, A. M., 13, 495, 679
 Andrews, I. G., 393
 Aqvist, L., 193
 Aranda, conde de, 533
 Ardila, R., 455
 Aris, R., 393
 Aristóteles, 121, 155, 156, 184, 193, 477, 519,
 558, 620, 685, 748, 751
 Arnoff, E. L., 39, 586
 Arquímedes, 22, 288, 289, 290, 300, 708
 Asch, S. E., 629, 637
 Ashby, W. R., 219, 330
 Aspect, A., 667
 Aston, F. W., 165, 248
 Atkinson, R. C., 711
 Atwood, G., 761
 Austin, J. L., 192
 Avenarius, 606
 Averroes, 773
 Ayer, A. J., 6, 625

 Bacon, F., 9, 12, 102, 206, 250, 341, 519, 566, 613
 Bacon, R., 708, 711
 Bach, J. S., 702
 Baird, D. C., 676, 711
 Baker, S. F., 775
 Barber, B., 538, 692, 773
 Barbour, I. G., 586
 Barner, B., 773
 Barnes, B., 242
 Barnett, S. A., 148
 Bartlett, M. S., 753
 Bartley, W. W., 227
 Bateman, F., 39
 Beckenbach, E. F., 560
 Bellman, R., 193
 Belnap, N. D. Jr., 193
 Bergson, H., 465, 510, 613, 619, 778
 Berkeley, J., 606, 778
 Berkowitz, L., 38
 Berlyne, D., 686
 Bernard, C., 198, 220, 263, 484, 686, 711
 Bernays, P., 384, 385, 775
 Bernoulli, 702
 Bessel, F. W. 224
 Beth, E. W., 393
 Beveridge, W. I. B., 263
 Bhabha, H. J., 322
 Bindra, D., 494
 Black, M., 85, 341
 Blake, J., 214
 Blake, R. M., 454
 Blalock, A. B., 676, 711
 Blalock, H. M., 711
 Blanshard, B., 625
 Blitz, D., 262
 Bogdan, R. J., 775
 Bohm, D., 676
 Bohr, N., 443, 577, 774
 Boirel, T., 586
 Boltzmann, L., 444, 454, 455, 570
 Bondi, H., 251, 693, 744
 Boom, L., 194
 Borger, R., 512
 Born, M., 134, 623, 644
 Boutroux, E., 307
 Boyle, R., 112, 298, 324, 692
 Boyte, J. M., 686
 Brahe, T., 219
 Braithwaite, R. B., 393, 455, 512

- Braudel, F., 538
 Bridgman, P. W., 135, 160, 307, 330, 408
 Brighth Wilson, E., 18
 Brodbeck, M., 512
 Bromberger, S., 193
 Broom, L., 193
 Bronstein, D. J., 12, 186
 Brothwell, D., 669
 Brown, G. S., 586, 773
 Bruno, G., 226, 765
 Brunswik, 361
 Buck, R. C., 586
 Bugliarello, G., 586
 Bunge, M., 18, 22, 39, 50, 58, 66, 72, 78, 85, 86, 104, 113, 128, 141, 142, 193, 227, 236, 251, 262, 263, 281, 298, 316, 322, 329, 330, 331, 361, 382, 392, 393, 407, 409, 433, 444, 454, 455, 456, 471, 478, 494, 510, 511, 512, 519, 528, 529, 560, 578, 586, 619, 625, 637, 644, 661, 676, 697, 703, 711, 725, 753, 762, 774, 775, 780
 Bury, R. G., 103, 250
 Bush, R., 421, 761

 Cameron, A. G. W., 168
 Campbell, N. R., 455, 512, 644, 661, 675, 676
 Cannon, W. B., 549, 705
 Cantor, J., 650
 Carathéodory, 433
 Carnap, R., 6, 50, 85, 135, 142, 192, 227, 393, 408, 455, 559, 606, 675, 734, 739, 741, 745, 775,
 Carslaw, H. S., 650
 Cini, M., 669
 Cioffi, F., 512
 Cochran, W. F., 711
 Cohen, E. R., 676
 Collingwood, R. G., 18, 192, 510
 Comte, A., 613
 Conant, J. B., 39, 685, 711
 Condillac, E. B. de, 49
 Condon, E. U., 676
 Copérnico, N., 444, 454, 764, 765, 773
 Copi, I., 393, 619
 Cottrell, Jr., L. S., 193
 Coulson, C. A., 493
 Cowling, T. G., 218
 Cox, D. R., 711
 Cox, C. M., 711
 Craig, W., 406, 409
 Craik, K. J. W., 512
 Crick, F., 493
 Crombie, A. C., 637, 711
 Cronbach, L. J., 142
 Crossley, J. N., 193
 Curry, H. B., 393
 Czerwinski, Z., 775
 Chesterton, G. K., 307
 Child, A., 586
 Churchman, C. W., 39, 586

 D'Abro, A., 454, 455
 Da Vinci, L., 601, 708, 711
 Dalton, J., 218, 219
 Dallenbach, K. M., 341
 Darwin, C., 48, 75, 219, 251, 333, 446, 447, 510, 538, 543, 619, 746, 778
 Davy, J., 226
 De Broglie, 675
 Deane, P., 585
 Dedekind, 650
 Delafresnaye, J. F., 141
 Demócrito, 482
 Denenberg, V. H., 693
 Dennis, W., 456
 Descartes, R., 9, 12, 13, 135, 206, 239, 478, 481, 620, 748, 750
 Destouches-Février, P., 559
 Deutsch, M., 625
 Dewey, J., 12
 Dilthey, W., 13, 18, 66, 142, 471, 510
 Dingle, H., 649
 Dingler, H., 199, 577
 Dirac, 650
 Donner, D. B., 586
 Dubos, R., 250
 Dugas, R., 454
 Duhem, P., 122, 263, 307, 315, 407, 433, 454, 456, 510, 711, 761, 778
 Dummett, 193
 Dumond, J. W. M., 676

 Eddington, A. S., 418, 445, 598, 623, 624
 Edge, D., 432
 Einstein, A., 66, 164, 249, 407, 456, 502, 773
 Ellis, B., 676

- Essex, 249
 Euclides, 371, 424, 432
 Euler, L., 454
 Exner, F., 331
 Eysenck, H. J., 37, 38, 696, 711
- Faraday, M., 486
 Feigl, H., 315, 455, 456, 512, 561, 724
 Fermat, 279
 Fermi, E., 149
 Feyerabend, P. K., 38, 39, 512, 774
 Fisher, R. A., 13, 690, 697, 706, 711, 775
 Fitzgerald, G. F., 249
 Flew, A., 456, 626
 Flüggé, S., 322
 Fogel, S., 685, 711
 Folks, J. L., 775
 Fox, R. C., 692
 Frank, P. G., 361, 442, 510, 625
 Fréchet, M., 382
 Frege, G., 58, 65, 85, 114
 Frenkel-Brunswick, E., 361
 Fresnel, 544, 773
 Freud, S., 39, 200, 465, 519
 Freudenthal, H., 193, 393
 Furstenberg, H., 560
- Gabriel, M. L., 685, 711
 Galanter, E., 421, 761
 Galilei, G., 297, 435, 708, 746, 765
 Galison, P., 711
 Galle, J., 224
 Gallie, W. B., 560
 Gardiner, P., 512
 Gardner, M., 39
 Geertz, C., 66, 142, 392
 Giedymin, J., 775
 Gellner, E., 40
 Gilbert, W., 219
 Gleiser, R. J., 677
 Gödel, K., 182, 390, 433
 Goethe, J. W. von, 219, 236, 507, 773
 Goguen, J. A., 95
 Gold, T., 251
 Gonseth, F., 22
 Good, I. J., 262
 Goodman, N., 116, 122, 142, 219, 236, 408, 409, 554, 775
- Goudge, T., 262
 Greenwood, E., 685, 711
 Gregg, J. R., 85
 Gregory, J., 278, 282
 Gross, L., 272, 570
 Gross, P. R., 40
 Grünbaum, A., 560, 762
 Guenin, J. de, 383
 Guericke, 752
 Guerlac, H., 637
 Guetzkow, H., 711
- Hacking, I., 711
 Haldane, J. B. S., 538, 661
 Halmos, P. R., 85
 Hamel, G., 322
 Hanson, N. R., 50, 263, 560, 625
 Harris, M., 775
 Hart, H., 539, 570
 Hartmann, 620
 Hartshorne, C., 192
 Harvey, D., 517
 Harvey, W., 246
 Heaviside, 454
 Hebb, D. O., 159, 455, 494, 618
 Hedström, P., 44
 Hegel, G. W., 7, 13, 262, 620
 Heidegger, M., 105, 200, 778
 Heisenberg, W., 104, 322
 Helmholtz, H., 624
 Helmont, J. B. van, 685
 Hempel, C. G., 85 135, 142, 455, 464, 470, 512, 735
 Henmueller, F., 114
 Henning, W., 78, 85
 Henkin, L., 393, 434
 Heráclito, 494, 642
 Herschel, J., 226
 Herskovits, M. J., 618
 Hertz, H., 251, 624, 625, 697
 Heyerdahl, T., 686
 Higgs, E., 669
 Hilbert, D., 148, 193, 391, 424, 432, 433
 Hilgard, E. R., 454
 Hippel, A. R. von, 570
 Hirsch, W., 538, 692, 773
 Hitch, C., 586
 Hiz, H., 193

- Hobbes, T., 122
 Hoerner, S. von, 168
 Hook, S., 38, 168, 361
 Hooke, R., 316
 Hull, C. L., 84, 243, 455, 585
 Hull, D., 72
 Hume, D., 139, 219, 307, 310, 321, 554, 555, 556, 558, 559, 775, 778
 Huntington, E. V., 370
 Husserl, E., 13, 199, 282, 454, 613, 619, 778
 Huxley, J. S., 585
 Huxley, T. H., 79, 251
 Huygens, C., 761

 James, W., 113, 556, 570, 778
 Jaspers, K., 6
 Jefreys, H., 322, 559, 673, 775
 Jevons, W. S., 549, 560, 725
 Johnson-Laird, P. N., 179
 Joule, J. P., 214
 Jung, C. G., 236

 Kant, I., 173, 186, 272, 307, 331, 421, 432, 623, 779
 Katz, J. J., 559
 Kayan, C. F., 676
 Kemeny, J. G., 421
 Kempthorne, O., 775
 Kendall, M. G., 310, 331, 711
 Kepler, J., 214, 219, 278, 418
 Keynes, J. M., 775
 Kimball, G. E., 570, 587
 Kirchhoff, G. R., 433, 493, 510
 Kleinmetz, B., 785
 Klibansky, 193
 Klineberg, O., 205
 Kneale, M., 370, 559
 Kneale, W., 331, 459, 718, 775
 Knopf, A. A., 762
 Koenig, O., 494
 Kolmogoroff, A. N., 193, 372, 560
 Körner, S., 95, 512, 520, 560, 625
 Kosslyn, S. M., 494
 Kotarbinski, T., 13, 586
 Krechevsky, I., 199
 Krikorian, Y. H., 12, 186
 Kubinsky, T., 193
 Kuce, R. D., 761

 Kuhn, T. S., 456, 725, 745, 774, 775
 Kurtz, P., 38
 Kyburg, H. E., Jr., 560, 775

 Lakatos, I., 455, 745, 775
 Lalande, A., 598
 Lamark, J. B. de, 447, 446
 Langford, C. H., 370, 393
 Laplace, 503
 Latour, B., 697, 778
 Lavoisier, A. L., 50, 112, 221, 298, 300, 411, 680-685
 Lazarsfeld, P. F., 18, 205, 421, 625
 Le Chatelier, H., 586
 Le Gros Clark, W., 619, 746
 Le Roy, S., 122
 Le Sage, G. L., 481
 Le Verrier, U. J., 226
 Leake, C. D., 18
 Lenzen, V. F., 626, 676
 Leibniz, G. W., 620, 778
 Leontieff, W., 449
 Leopold, L. B., 421
 Levelt, J. M. H., 306
 Levitt, E. E., 37
 Levitt, N., 40
 Lévy-Leblond, J. M., 669
 Lewin, K., 298
 Lewis, C. I., 85, 142, 370, 393, 626
 Lewis, M. W., 40
 Lilley, S., 538
 Lindley, T. F., 193
 Linus, F., 750
 Little, K. B., 585
 Lorentz, H. A., 249, 319
 Lotka, A. J., 84
 Luce, R. D., 421
 Lukasiewicz, J., 559

 Macaulay, T. B., 605
 Mackey, R., 587
 Mach, E., 32, 252, 350, 388, 408, 433, 444, 510, 577, 606, 619
 Madden, E. H., 454
 Magno, A., 708
 Mahner, M., 72, 78, 86, 331, 456
 Maine de Biran, 619
 Maiztegui, A. P., 677

- Malthus, T. R., 307
 Margenau, H., 142, 677
 Maroney, M. J., 702
 Martin, R. M., 85
 Marum, M. van, 624
 Marx, M. H., 85, 454, 456
 Matthew, W. D., 251
 Maxwell, G., 453, 455, 456, 512, 561
 Maxwell, J. C., 223, 251, 408, 512
 Mayr, E., 72, 73, 86
 McCorquodale, K., 85, 454
 McKinsey, J. C. C., 386, 387, 393
 McLone, R. R., 393
 Medawar, P., 761
 Meehl, P. E., 85, 142, 454, 528, 560
 Mehlberg, H., 12, 40, 193, 331, 607
 Melzak, R., 696
 Mendeleiev, D. I., 69
 Menger, K., 86, 114
 Mersenne, N., 221
 Merton, R. K., 40, 159, 193, 315, 341, 456, 549, 586, 775
 Meyerson, E., 273, 484
 Mieli, A., 711
 Miles, H. H. W., 37
 Mill, J. S., 331, 464, 512, 559, 606
 Miller, G. A., 103, 423
 Miller, S., 694
 Millikan, R. A., 745
 Mitcham, C., 586
 Mohr, J. C. B., 471
 Montesquieu, C. de S. de, 329
 Moore, G. E., 6, 121
 Morgenstern, O., 586, 677
 Moroney, M. J., 711
 Morris, C. W., 50, 86
 Morris, R. T., 193
 Morse, P. E., 570, 587
 Moss, F. A., 695
 Mössbauer, 548
 Moulines, C. U., 392
 Müller, E. W., 605, 606
 Murdock, G. P., 433
 Musgrave, A., 455, 775
 Myrdal, G., 570
 Nash, L. K., 40
 Naville, E., 263
 Needham, J., 273, 570
 Neumann, J. von., 433, 677
 Neurath, O., 140, 191
 Newell, A., 456
 Newton, I., 113, 145, 148, 164, 184, 206, 214, 278, 282, 333, 401, 418, 428, 477, 481, 761, 773
 Norton, W. W., 705
 Nostradamus, 514
 Odishaw, H., 676
 Oersted, H. C., 679
 Orwell, G., 307
 Osgood, C. E., 519
 Osiander, A., 454
 Ostwald, W., 433
 Padoa, A., 121, 386, 388, 393
 Pap, A., 142, 512
 Papo, 155, 156
 Parménides, 273
 Parsons, T., 341
 Parthey, H., 193
 Pascal, B., 113, 751
 Pasteur, L., 222, 242, 250, 624
 Pavlov, I. P., 148, 165, 470, 585
 Peano, G., 370
 Pearson, K., 510
 Peirce, C. S., 192, 308, 494, 542
 Peregrinus, P., 708
 Périer, 751
 Petrosky, H., 587
 Petzold, J., 444
 Pfanzagl, J., 677
 Pitágoras, 418, 643
 Planck, M., 32, 442
 Platón, 6, 113, 131, 135, 212, 491, 598
 Platt, J. R., 539
 Plutarco, 289
 Poincaré, H., 49, 122, 218, 307, 445
 Poisson, 648, 649
 Polanyi, M., 31
 Pólya, G., 156, 172, 173, 193, 775
 Popper, K. R., 6, 40, 135, 160, 192, 193, 227, 239, 242, 264, 272, 444, 454, 456, 464, 470, 512, 539, 542, 549, 560, 577, 586, 693, 735, 742, 775, 778, 779

- Price, G. P., 696
 Priestley, J., 50, 511, 685
 Prout, J., 226
 Ptolomeo, 444, 454, 560, 764, 765, 773
- Quine, W. V. O., 86, 116, 122, 298, 625, 762
 Quintanilla, M. A., 587
- Rabi, I. I., 149
 Ramón y Cajal, S., 710, 711
 Ramsey, F. P., 191, 409
 Randall, Jr., J. H., 711
 Rankine, A. O., 249
 Rapp, F., 587
 Rapoport, A., 272, 412, 549
 Rashevsky, N., 401, 560
 Reichenbach, H., 242, 308, 315, 329, 444, 559, 560, 578, 741, 778
 Rescher, V. N., 6, 199, 561, 587, 775
 Rey, J., 221, 222, 680
 Rickert, 471
 Robertson, J. M., 18, 250
 Robinson, G., 18, 676, 677
 Roentgen, W. K., 149
 Rorty, R., 6
 Rosebloom, P. C., 393
 Rosenberg, M., 18, 205, 421
 Russell, B., 95, 114, 142, 235, 251, 263, 272, 329, 408, 570, 597, 619, 626
 Rutehford, E. lord, 538
 Ryle, G., 520, 599, 606
- Sacristán, M., 86
 Sadosky, M., 677
 Scriven, S., 455, 512, 561
 Scheffler, I., 561
 Schiller, F. C. S., 264
 Schlesinger, G., 262
 Schlick, M., 192, 251, 577
 Schon, D., 263
 Schrödinger, E., 331, 643
 Schultzer, B., 624, 677
 Seebeck, T. J., 505, 506
 Seeman, M., 193
 Selye, H., 611
 Sellars, R. W., 724
 Semmelweis, I., 222
 Sewel, W. H., 37, 38, 761
- Sexto Empírico, 103, 250
 Shankland, R. S., 407
 Sheriff, M., 695
 Shils, E., 341
 Shimony, A., 307
 Simon, H. A., 434, 456, 587
 Simpson, G. G., 72, 75, 86, 104, 206, 329, 606
 Skinner, B. F., 341, 455, 535
 Skolem, G. Th., 433
 Smart, J. J. C., 290, 456
 Smith, J. M., 421
 Sneath, P. H. A., 637
 Sneed, J., 371, 392
 Snell, J. L., 421
 Snell, W., 278, 279, 282
 Soal, S. G., 39
 Soddy, F., 248
 Sokal, R. R., 637
 Solomon, H., 421
 Sorokin, P., 103
 Spence, K. W., 454
 Spencer, H., 598
 Spencer, R. F., 618
 Spencer Brown, G., 773
 Spinoza, B., 392
 Stahl, G., 193
 Stanley Jevons, W., 85, 331
 Steebbing, L. S., 598, 623
 Stegmüller, W., 371, 392
 Stein, P. K., 677
 Sternberg, S., 761
 Stevens, S. S., 220, 383, 408
 Stevinus, 747
 Strauss, M. A., 37
 Suppe, F., 393, 456
 Suppes, P., 58, 86, 392, 393, 434, 587
 Susskind, C., 587
 Swann, W. F. G., 744
 Swedberg, R., 454
 Synge, J. L., 423
 Szent-György, A., 149, 221, 618
- Tarsky, A., 142, 359, 393, 434, 725
 Taton, R., 624
 Taylor, J. G., 298
 Thomas, L., 141, 692
 Thompson, d'A. W., 421
 Thompson, W. T., 696

- Thoreau, 535
 Thouless, R. H., 39
 Tocqueville, A. de, 533
 Toland, J., 250
 Tolman, E. C., 84, 454
 Tomás de Aquino, 625
 Tomilson, G. A., 249
 Tonnelat, M. A., 503
 Törnebohm, H., 86, 456
 Torricelli, E., 746, 747, 749, 752, 753
 Toupin, R., 324
 Toynbee, A. 478
 Trigger, B. G., 775
 Trouton, F. T., 249
 Truesdell, C., 322, 392, 456, 711
 Tryon, R. C., 695
 Tyndall, J., 624
 Tzu, Hsün, 570

 Urtier, 236
 Uyeda, S., 168, 625

 Vaihinger, H., 236, 423
 Venn, J., 261, 330
 Verne, J., 514
 Vesalio, 708
 Vilar, P., 538
 Ville, J., 382
 Virchow, R., 222
 Viviani, V., 750
 Volterra, V., 455

 Waissmann, F., 626
 Wald, G., 121
 Walters, R. H., 37
 Wason, P. C., 179
 Watanabe, S., 529
 Watkins, J. W. N., 432, 775
 Watson, J., 493

 Weaver, W., 454
 Weber, M., 141, 142, 471
 Weierstrass, 650
 Weinberg, A., 149
 Weiss, P., 149
 Weisskopf, V. F., 454
 Wells, H. G., 514, 538
 Weyl, H., 330
 Wheeler, J. A., 262, 669
 Whewell, W., 50, 113, 142, 220, 329
 White, D., 456
 Whitehead, A. N., 307, 408, 599
 Whittaker, E., 18, 676, 677
 Whyte, W. H., Jr., 149
 Wiener, N., 560
 Wiener, P. P., 12, 186, 308, 494
 Wigner, E. P., 262
 Wilson, E. B., 18, 40, 264, 677, 705
 Willoughby, 571
 Wittgenstein, L., 7, 113, 191, 510, 597, 778
 Wold, H., 561
 Wolff, C., 734
 Wolpe, J., 37, 38, 585, 695
 Wolpert, L., 40
 Wood, A. B., 249
 Woodger, J. H., 58, 86, 264
 Woolgar, S. 697
 Wrigth, G. H., von, 559, 775

 Young, J. W. A., 370
 Young, J. Z., 49, 773
 Yule, G. U., 310, 331,
 Yule, I., 711

 Zarrow, M. X., 693
 Zetterberg, H., 421
 Zilsel, E., 273
 Zubin, J., 135
 Zurek, W. H., 669

ÍNDICE ANALÍTICO

- acaecimiento, analizabilidad, 591, 592
 - concepto, 591
- acción, 562ss
- acción máximamente racional, caracterización, 562
 - racional. carácter instrumental, 562
 - y conocimiento, relación, 569
- acertijos y problemas científicos, comparación, 172
- adición física y matemática, diferencia, 629, 631
- agregado, 521
- ambigüedad de los diagnósticos, reducción, 467
- análisis, pasos, 26
 - de significación, postura filosófica, 124, 125
 - semántico, 47
 - sintáctico, 47
- analogía estructural, inferencia, 713
 - sustantiva, inferencia, 713
- anticipación, tipos, 513; *véase* predicción
- aplicación de las ideas científicas: de la explicación a la acción, 457ss
- aposteriorismo, caracterización, 620
 - crítica, 620
- apriorismo, fracaso, 620
- axioma, concepto, 351
- axiomas, caracterización por el concepto clave de la teoría, 107
 - centrales y periféricos, 354
 - e hipótesis, 197
 - invención o creación, 351
 - precisión y riqueza, 347
- axiomatizabilidad y completitud formal, equivalencia, 390
- biología, jerarquía linneana, 69
 - sistemas taxonómicos, 69
- búsqueda de la ley, la, 273ss
- “cajanegrismo”, crítica, 452
- cálculo de los sistemas axiomatizables, teoremas, 359
- cambio planificado, 678ss
- cantidades, *véase* variables cardinales
- casualidad y predicción, 524, 525
- ciencia, alcance, 26, 27
 - aplicada, 23; *véase* tecnología
 - – división, 23
 - – y pura, relación, 576
 - carácter monista, 27
 - – pluralista, 27
 - clasificación, 21, 23
 - concepción errónea, 29
 - conocimiento, 3
 - creciente importancia, 30
 - de la inferencia no-deductiva, conclusión, 718
 - definición, 14, 25
 - descripción, 24
 - esfuerzo por la sistematización, 309
 - evolución teórica, 333
 - exigencia de inteligibilidad, 483
 - expansión, 30
 - factual, generalizaciones empíricas, 309
 - – presupuestos relativos, 158
 - formal, lógica y matemática, 259
 - generalizaciones, 35
 - grados de inteligibilidad, 483
 - hipótesis filosófica de la cognoscibilidad limitada, 257
 - – filosóficas presupuestas, 252
 - historia de la, 223
 - intrincación de elementos, 440
 - investigación, 3, 24, 26; *véase* método científico
 - ley científica, 25
 - límites, 27, 29, 30
 - objetiva y operativismo, 132
 - objetivo, 10, 27, 32
 - – extrínseco, 23
 - – intrínseco, 23
 - peculiaridad, 5
 - planteamiento representacional, 258
 - presupuesto filosófico realista, 252

- presupuestos filosóficos del determinismo, epistemológico, 255, 256
- — — del determinismo ontológico, 255
- — — formalistas, 259
- presupuestos filosóficos pluralistas, 254
- progreso, 334
- pura y aplicada, relación, 576
- relación con otros conocimientos, 32
- repercusión, 30
- “sustancia”, 5
- teoría científica, 25, 37
- y filosofía, relación, 252, 261
- y lenguaje, 42
- y modas, 166
- y no-ciencia, diferencia, 11, 17, 26, 32
- y positivismo tradicional, 258
- ciencias de la ciencia, 28
- del hombre, modelos matemáticos, 410
- factuales, 19, 20, 21, 25
- formales, 19, 20, 21
- científico, postura explicativa, 509
- clases, 282ss
- clases: forma y contenido, 207ss
- clases: punto de vista gnoseológico, 212ss
- clases y relaciones, extensionalización, 57
- clasificación, 67
- artificial, 74
- objetiva, 74; *véase* sistemática
- principios lógicos y metodológicos, 67
- sistemática, 69, 72
- universo del discurso, 67
- completitud formal y axiomatizabilidad, equivalencia, 390
- comprensión, carácter psicológico, 483
- computar, *véase* contar
- cómputo, 644ss
- cómputo atómico-teorético, ejemplo de cómputo indirecto, 648
- empírico, características, 645
- indirecto, procedimiento, 647
- condiciones, 647
- tipos, 646, 649
- concepto, 41ss
- concepto científicamente válido, condiciones necesarias, 137
- — — condiciones suficientes, 138
- connotación, *véase* concepto, intensión
- de ácido, evolución, 112
- concepto de “validez”, el, 136
- concepto, definición de trabajo, 60
- denotación, *véase* concepto, extensión
- dominio de aplicación, *véase* concepto, extensión
- extensión, 61
- generalidad, 61
- intensión, 58
- núcleo intensional, 60
- conceptos científicos, análisis filosófico, 87
- clases (punto de vista lógico), 53, 54
- — (punto de vista semántico), 52
- clasificación por sus funciones, 79, 80
- conceptos comparativos, caracterización, 630
- comparativos, cuantificación, 629, 631
- cuantitativos, extensiones objetivas y numéricas, 61
- — y relacionales, extensiones, 61, 62
- de clases, atribución de números, 627
- deformación, 98
- diferencias en sus géneros, 56
- división por su alcance sistemático, 81
- estructura lógica, 56
- formación, 96
- formales, validez, 137
- funciones metodológicas, 66
- individuales, atribución de cifras, 627
- lógicos y matemáticos, importancia, 100
- niveles de precisión, 96
- no-comparativos, cuantificación nominal, 629, 630
- no-definidos, 103, 105
- no-observacionales, 82, 83
- — construcciones hipotéticas, 83
- — necesidad, 430
- — selección, 431
- — variables intermedias, 83
- primitivos, *véase* conceptos no definidos
- relacionales, cuantificación, 629
- — y cuantitativos, extensiones, 61
- rígidos inextensibles, 98
- teoréticos factuales, sistemática, 81, 82
- confirmabilidad, 231; *véase* contrastabilidad
- confirmación empírica, circularidad, 614
- paradojas, 735
- y deductivismo, 742
- confirmación y refutación, 775ss
- conjetura, caracterización, 514

- conjunto, concepto de cardinalidad, 628
 - dilucidador, 99
- conocimiento conceptual, 20
 - estadios de formalización, 396
 - objetividad, 4
 - ordinario, 3, 32
 - generalizaciones empíricas, 309
- conocimiento: ordinario y científico, 3ss
- conocimiento original, génesis por contrastación empírica, 360
 - racionalidad, 4
 - técnico ordinario, 32
 - tecnológico, problemas filosóficos, 562
 - y acción, relación, 569
- consistencia, criterio de decisión de Bernays, 384
 - formal, importancia, 383
 - semántica, condiciones necesarias, 342, 343
- construcción de teorías, 394ss
- contar, concepto, 644
- contenido proyectivo y probabilidad, 550
- contestación a los porqués, 459ss
- contrastabilidad, 227ss
- contrastabilidad, condiciones, 239, 240
 - criterio de exigencia, 234
 - empírica, 227
 - condición necesaria y suficiente, 232, 234
 - dificultad de determinación, 231
 - niveles, 234
 - y significación, 125, 126
- contrastación de hipótesis, 725ss
- contrastación de hipótesis, esquema general, 730
- contrastación de las ideas científicas: de la observación a la inferencia, 589ss
- contrastación de proposiciones observacionales, 719ss
- contrastación de teorías, 753ss
 - conclusiones, 441
 - estadio empírico, 756
- contrastación de teorías, estadio teórico, 756
 - inferencia, 756
 - dura, características, 743
 - e hipótesis, problema, 752
 - empírica, modos de eludirla, 227
 - indirecta, casos, 729
 - y proyección, 514, 542
- contrastaciones empíricas, insuficiencia, 732
- control, 686ss
- control, sistema de, 687
 - tipos, 689
- controversia Ptolomeo-Copérnico, 764
- convalidación de teorías, irrelevancia de la práctica, 568; véase teoría falsa
- convencionalismo e hipótesis representacionales, 157
- correlación, clases, 701
- cuantificación de conceptos cualitativos, 636
- cuantificación numérica, 627ss
- cuantificación numérica, concepto, 627, 638
 - cuestiones de interés filosófico, 634
 - ventajas, 634
 - y medición, relación, 634
- cuantificadores, 45
- cuestiones científicas ascendentes, estructura, 477
- curva empírica, interpolación y extrapolación, 244, 246, 247
- dadismo, véase datismo
- Darwin, teoría de, 765
- datismo, 621
- dato, concepto, 612
- dato-ley, inferencia, 298
- dato y evidencia, relación, 614
 - y teoría, 356
- datos científicos, peculiaridades, 612
 - clases según relevancia, 736
 - e hipótesis, comparación, 194
 - en bruto, refinamiento, 617
 - sensibles, valoración, 613
 - técnicas de sistematización, 617
 - últimos, existencia, 616
 - valor en la ciencia, 743
- datos y evidencia, 612ss
- deducción y explicación, relación, 462
- deducibilidad, 350ss
- deductivismo y confirmación, 742
- definibilidad relativa, 121
- definición, 104ss
- definición aristotélica, 102
 - científica, características, 105
 - concepto, 105
 - conclusiones de los valores científicos, 140
 - de conceptos científicos, condiciones, 112
 - de magnitudes, 110

- definiendum y definiens, 105
- exigencias de alcance ontológico y metodológico, 118
- pragmáticas, 117
- semánticas, 115
- sintácticas, 115
- explícita, formas y clases, 106
- función metateórica, 106
- funciones en la ciencia, 118, 120
- implícita, clases, 106
- intercambiabilidad y eliminabilidad, 119
- naturaleza, 107
- nominal, géneros por su forma lógica, 106
- propiedades, 114
- y ecuación, 108
- definiciones contextuales, *véase* definiciones postulacionales
- postulacionales, 107
- demonstración, *véase* inferencia deductiva
- demostrar, probar y deducir, equivalencia formal, 354
- denotación, 52
- densidad, estudio definitorio, 109
- descripción, clases, 506, 507
- y explicación, distinción, 506
- descriptivismo, caracterización, 504
- efectos dañinos, 506
- especies de, 503
- descriptivismos, crítica, 504
- raíces, 504
- desiderata formales, 383
- determinación extensional, 89
- determinismo filosófico, 255
- y teoría de los quanta, 256
- diagrama de Euler-Venn, 70, 92
- de Hasse, 71
- dificultades y paradojas, 550ss
- dilucidación, 87ss
- dilucidación conceptual, técnicas, 96
- dilucidación, técnicas, 96
- división, forma de clasificación, 67
- división, ordenación y sistemática, 66ss
- división y jerarquías, diferencia, 72
- ecuación y definición, 108
- empirismo contemporáneo, críticas, 662
- radical, 25
- enfoque científico, 5, 29
- enfoque científico y herramientas, 1ss
- “entidades teoréticas”, existencia objetiva, 338
- enunciado legaliforme, 270, 276; *véase* ley
- “enunciado nomológico”, concepto, *véase* “fórmula legaliforme”, concepto
- enunciado que no expresa una ley, ejemplo, 310
- enunciados acerca de cualquiera, generalización, 293
- legaliformes, clases de interés lógico, 311
- de nivel alto, 313
- de nivel bajo, 314
- equilibrio hidrostático, concepto, 747
- equivalencia epistémica, 723
- escala métrica incompleta, características, 653
- unidad o intervalo básico, 654
- escala y unidad, 650ss
- escolástica y problemas científicos, 146
- esquema de ley, 269
- especificación estadística, inferencia, 714
- especulación acientífica, 25
- estimación de teorías, criterios, ontológicos, 770
- criterios metodológicos, 770
- criterios gnoseológicos, 768
- criterios formales, 767
- criterios semánticos, 768
- estructura nómica, *véase* ley objetiva
- evidencia, carácter relativo, 614
- caracterización, 614
- indirecta, importancia científica, 608
- lógicamente directa, 608
- lógicamente indirecta, 608
- y dato, relación, 614
- y referencia, distinción, 437
- exactificación, 96
- examen de teorías, 762ss
- expectativa, caracterización, 513
- experiencia, 25
- humana, 25
- experimento, 678ss
- experimento, aplicación del estímulo, 691
- científico, definición, 678
- dependencia de las ideas, 707
- contrastación, 706
- contrastaciones de significación, 703
- control, 678
- correlación entre variables, 701
- estadístico, estrategia de investigación, 700
- experimento inconcluyente, carácter, 709

- funciones, 706
- mental, 691, 692
- operaciones, 690
- planteamiento experimental, 686
- significación de diferencias de grupos, 698
- supuestos, 679
- uso de modelos, 691
- experimentos, clases de proyección, 694
- concluyentes, cuestión, 709
- ejemplos, 679, 680
- factoriales, 688
- proyección, 694
- tipos, 679
- explicación, 459ss
- explicación acientífica, 469
- *ad hoc*, 494
- aspecto psicológico, 843
- científica, características, 471
- – cuestión sobre sus límites, 507
- – definición, 471
- – esquemas, 476
- – de generalizaciones, 474
- – de leyes, 475, 476
- – de tendencias, 474
- – de un no-hecho, importancia, 473
- – objetivo, 483
- esquemas deductivos, 461
- estadística de una ley, 486, 489
- ejemplo, 487
- histórica de leyes, 490
- explanandum, 459
- explanans, 640
- grados de profundidad, 482
- explicación mecanística, 478ss
- explicación mecanística de leyes, justificación, 685ss
- – profundidad, 481
- explicación mecanística y reducción a leyes, 485ss
- explicación interpretativa y subsuntiva, distinción, 480
- explicación no científica, 464ss
- explicación no reductiva, ejemplo, 474
- ordinaria, 467
- poder genético, 463
- racional científica, características, 467
- – clases, 461
- – concepto, 459
- – definición, 461
- – ordinaria, características, 467
- – tipo diagnóstico, 467
- rasgos, 462
- reductiva, 490
- – ejemplo, 472
- – espiritualismo, 491
- – mecanicismo, 491
- subsuntiva, crítica, 479
- explicación subsuntiva de leyes, 485
- – y mecanística, distinción, 479
- tipos, 493
- y deducción, relación, 462
- y descripción, distinción, 506, 507
- y proyección, diferencias, 516, 557
- explicaciones, limitación, 494, 495
- racionales no científicas, 465
- expresión lingüística, contenido, 44
- – forma, 44
- expresiones del lenguaje científico, clases, 46
- expretación, véase explicación mecanística
- de leyes, clases, 485
- extrapolación retrodictiva, 531
- falibilismo, 4
- fenomenalismo, 257, 593
- fenomenismo, véase fenomenalismo
- fenómeno, concepto, 592
- descripción, 592-593
- filogénesis y taxonomía, relaciones, 75
- filogenética, y sistemática alfa, interpretación metodológica, 75
- filosofía de la ciencia, 190
- progreso, 187
- reglas para una metodología, 189
- y ciencia, relación, 252, 260
- filósofos, clases, 187
- filtro, definición, 356
- fin de los problemas científicos, el, 179ss
- forma condicional, paradojas de la implicación, 295
- forma y contenido, 290ss
- formalización, 431
- formas de transición, problema de clasificación, 92
- fórmulas científicas, 267
- fórmula-hecho, relación, 303
- “fórmula legaliforme”, concepto, 300

- correlatos, 303
- dominio de validez, 301, 302
- ejemplo, 311
- enunciado de objeto, y metaenunciado, 317, 318
- y ley objetiva, relación, 302, 303
- “fórmula metanomológica”, concepto, 300
- “fórmula nomopragmática”, concepto, 300
- fórmula nomológica y regla, 574
- formulación, 198ss
- fórmulas analíticas, 20
- condicionales satisfactibles, concepto modal de posibilidad, 296
- de analiticidad semántica, 20
- sintáctica, 20
- fuerza lógica, 237
- fórmulas legaliformes, enunciados de invariancia, 318, 319
- secuencia progresiva, 301
- metanomológicas, 319
- equivalencia pragmática, 321
- descriptivas, 317
- — — analíticas, 319
- — — clases, 319
- — — sintéticas, 319
- géneros, 317
- selección, 320
- prescriptivas, 318
- — — clasificación valorativa, 321
- valores veritativos, 227
- fórmulas y pautas, 299ss
- fuerza de la ciencia, la, 145ss
- función, dominios, 54
- proposicional, 45
- funciones (experimento), 706ss
- funciones (hipótesis), 243, 244ss
- funciones (observación), 620ss
- funciones sentenciales, *véase* función proposicional
- funciones y alcance, 503ss
- fundamento, 220ss
- generalización empírica, transformación en ley de nivel bajo, 312
- y ley exacta, diferencias, 279
- estadística, inferencia, 714
- generalizaciones empíricas, valor veritativo, 721
- observacionales, *véase* generalizaciones empíricas
- geostatismo-heliostatismo, *véase* controversia Ptolomeo-Copérnico
- grupo de transición, definición, 92
- grupos experimental y de control, homogeneidad, 688
- hecho, 591ss
- hecho, concepto, 591
- equívocos y paradojas, 596
- hecho-fórmula, relación, 303
- hecho objetivo, primacía sobre el fenómeno, 305
- hecho, clases, 591, 593
- posibles, cuestión, 595
- relación con el sujeto conocedor, 595
- significabilidad, 597
- y leyes, relación, 324
- heurística, 174ss
- hipótesis, 194ss
- hipótesis, *ad hoc*, 248
- — — contrastabilidad independiente, 248
- apoyo inductivo, 741
- científica, condición de analiticidad máxima, 239
- hipótesis científica, condición de sinteticidad, 238
- — — datos relevantes, 737
- — — grado de ostensividad, 215
- científicas, físicas, 201
- — — fundamento, 220
- — — peso de la evidencia empírica, 738
- — — psicológicas, 201
- — — requisitos de formulación, 200
- confirmables e irrefutables, *véase* hipótesis irrefutables y confirmables
- confirmación, 739
- clasificación epistemológica, 194
- — — por su correlato inmediato, *véase* hipótesis, clasificación semántica
- — — por su profundidad, 216
- — — semántica, 210
- — — clasificaciones, 207
- — — sintéticas, 207
- hipótesis, consistencia lógica, 237
- contrafactualmente potentes y débiles, 209
- contrastabilidad, 725
- contrastables, tipos, 231

- contrastación empírica, 16, 727, 730
- control, 250
- convalidadas, 222
- de correlación, 274
- del cero, 717
- desconfirmación, *véase* hipótesis, confirmación
- ejercicios de contrastación, 201
- ejercicios de formulación, 200
- empíricamente contrastables, 727
- empíricas, conjeturas, 223
- exigencia de convalidación empírica, 222
- – – teoréticas, 222
- factual, definición, 194
- fenomenológicas, 216
- hipótesis filosóficas en la ciencia, 252ss
- hipótesis, funciones, 244
- fundamentales o básicas, 197
- generales, especificabilidad, 208
- grado de confirmación empírica, 739, 742
- grados de precisión, 210
- interpretación, 246
- irrefutables, necesidad, 328
- – y confirmables, tipos, 332
- – – valor heurístico, 232
- justificación teórica, 220
- mixtas, 216
- modelos empíricos, 241
- necesidad, 197, 244
- nivel de ocurrencias, 222, 223
- niveles en el conjeturar, 223
- no-observacionales, 215
- observacionales, 215
- hipótesis, origen epistemológico, 194
- papel en la ciencia, 196, 244
- plausibles, conjeturas razonables, 223
- postura convencionalista, 248
- – infalibilista, 243
- protectoras, origen psicológico, 249
- representacionales o “mecánicas”, 216, 218
- – y convencionalismo, 217
- – y positivismo, 217
- rivales, 225
- sentido epistemológico y metodológico, 194, 197
- – lógico, 197
- simplicidad formal, 246
- sobre la identidad factual, 267
- subconjuntos del ámbito de una, 498
- verdadera, requisitos, 237
- y clima intelectual, 221
- y contrastación, problema, 233
- y datos, comparación, 195
- y relevancia, 736
- hombre, ser problematizador, el, 145
- idea-contenido, 19, 20
- idea factual, 19
- formal, 19
- idea-signo, 47
- idea-realidad, 52
- ideas científicas, las, 143
- identidad de los indiscernibles, principio leibniziano, 266
- discusión, 265
- factual, hipótesis, 267
- implicación, lógica, 353
- – e implicación material, relación, 353
- indefinibilidad absoluta, 121
- independencia, métodos de contrastación, 386, 388
- indeterminación de significaciones, 90; *véase* vaguedad total
- indiscernibilidad de los idénticos, principio de, 266
- inducción de primer grado, inferencia, 714
- de segundo grado, inferencia, 714
- papel en la ciencia, 741
- inductivismo, 212, 714
- y confirmación de hipótesis, 741
- inferencia, 712ss
- inferencia científica, caracterización, 723
- inferencia científica, la, 712ss
- inferencia deductiva, 713
- errores, 717
- plausible, carácter, 716
- – control estadístico, 716
- – esquemas, 713, 714
- – papel científico de sus esquemas, 716
- no-deductiva, 716; *véase* inferencia plausible
- instrumentos de medición, condiciones, 665
- intensión y referencia, 58ss
- interpolación retrodictiva, ejemplos, 531
- interpretación, 122ss
- interpretación, clases de procedimientos, 128

- condiciones, 366, 381
- y teorías, 134
- investigación, actitud paleocientífica, 334
- análisis, 174, 177
- búsqueda de problemas análogos resueltos, 175, 177
- científica, 145
- – condición de fecundidad, 166
- – libertad, 169
- consejos, 174
- construcción progresiva, 184
- control de la solución, 175, 178
- de fundamentos, 428
- – alcance, 432
- de problemas, pasos principales, 170
- descubrimiento de los presupuestos, 176, 177
- exportación del problema, 175, 177
- formulación del problema, 174, 175
- identificación de los constituyentes, 174, 176
- localización del problema, 174, 176
- planificación, 175, 177
- selección del método, 175, 176
- simplificación, 175, 176
- transformación del problema, 175, 177
- y problema, relación, 146, 147
- investigador, tareas y actitud, 146
- jerarquía, 71
 - rasgos formales y semánticos, 70
 - y división, diferencia, 72
 - y teoría, diferencia, 71
- jerarquías compuestas, representaciones gráficas, 70
- lema, concepto, 355
- lenguaje, división, 42
 - fenomenista, 49
- lenguaje-objeto, 42
- lenguaje, pragmática, 43
 - semántica, 43
 - sintaxis, 43
 - y ciencia, 42
- lenguajes artificiales, 42
- lenguajes científicos, 41ss
- lenguajes naturales, 42
 - ordinario y científico, 47
- ley, 265ss
- ley científica, concepto, 265, 271
 - – definición, 315
 - – requisitos, 314
 - de conversión de unidades, 656
 - de la invariancia bajo el cambio de unidad, 656
 - ley, enunciados estocásticos, 292
 - exacta y generalización empírica, diferencias, 279
 - función restrictiva, 271
 - galileana sobre los graves, 294, 297
 - “objetiva”, concepto, 299
 - objetiva y fórmula legaliforme, relación, 302
 - pasos previos a su enunciado, 304
 - rasgo de relación constante entre variables, 270
 - selección de variables, 273
 - “ley”, significaciones en ciencia, 299
 - leyes científicas, ejemplos ilustrativos, 284
 - – y correlatos, 306
 - cuasi-universales, 291
 - de alto nivel, equivalencia local de los sistemas de referencia, 304
 - de bajo nivel, crítica de las técnicas de búsqueda, 281, 304
 - – – papel de la observación, 276
 - – – relatividad, 304
 - – – técnica de interpolación, 277
 - – – técnica de análisis dimensional, 279
 - – – y hechos perceptibles, 303
 - leyes de leyes, 316ss
 - generales cuantitativas, características, 270
 - interniveles, 283
 - intranivel, clases, 283
 - no-universales, enunciados estadísticos, 291
 - – – probabilitarios, 392
 - nuevas, papel del hombre, 227
 - objetivas, función restrictiva de posibilidades lógicas, 323
 - objetivas, problemas filosóficos, 300
 - papel de los sistemas de referencia, 304
 - requisito lógico de generalidad, 290
 - teoréticas, obtención, 314
 - universales, 291
 - – cuestión relativa a la forma condicional, 294
 - “violación” por el hombre, 326
 - y excepciones, 323
 - y hechos, relación, 324
 - lógica, 19

- autonomía, 357
- de las magnitudes, 62
- lógica de problemas, 149ss
- lógica deductiva y contrastación de hipótesis, 731
- inductiva, 732
- magnitud, concepto, 650
- elección de unidades, 655
- introducción de una unidad, 658
- magnitudes, *véase* conceptos cuantitativos
- magnitudes, aclaraciones, 632
- análisis extensional, 63
- convención, 655
- derivadas, obtención de unidades, 657
- fundamentales, elección de unidades, 655
- – sistema de unidades, 657
- tipos, 632
- matemática, 14, 19, 20
- función de la ciencia, 420
- iteración convergente, 15
- método dicotómico, 15
- matematización, 409ss
- matematización, ejemplos, 413
- factores, 410
- opiniones erróneas, 419
- mecánica cuántica, controversia de fundamentos, 126, 127
- – y novedad conceptual, 97
- hipótesis de la contracción, 248
- medición, 627ss
- medición, cambio de escala, 652
- caracterización, 627, 638, 650
- convergencia externa, 674
- – interna, 673
- directa, 661
- elaboración de datos, 670
- elección de variables independientes, 664
- elementos necesarios, 659
- encuadre en una cadena de operaciones, 674
- errores experimentales, 671
- escala, 651, 652
- estructura, 651
- exactitud, 672
- indirecta, 663
- precisión, 653, 672
- resultado, 670
- técnicas, 661
- tipos de escalas, 652
- y cuantificación numérica, relación, 634
- mediciones atómicas, características, 668
- mediciones indirectas, ejemplos, 663
- tipos, 652
- mesurandum, estimaciones, 638
- valor real, 642
- valores, 642
- metaciencia, clasificación, 28
- metalenguaje, 42
- metaley, ejemplos, 285
- método científico, el, 7ss
- método científico, 11, 13, 19
- – operaciones, 8
- – regla general, 11
- – reglas, 9
- concepto, 7
- de aproximaciones sucesivas, 16
- especial empírico, justificación teórica, 17
- experimental, 686, 708
- método experimental, técnicas, 686
- general, 7, 19; *véase* método científico
- hipotético-deductivo, 198
- – – ejemplo de aplicación, 223, 225
- metodología científica, presupuestos filosóficos pluralistas, 254
- métodos especiales, 7, 17, 19; *véase* técnicas científicas
- mitología y ciencia, 26
- modas y ciencia, 166
- “modelo”, sentidos de, 369
- modus ponens débil, inferencia, 715
- tollens débil, inferencia, 715
- naturalismo, objetividad, 4
- niveles de entidades, 51
- lingüísticos, 43
- no-ciencia y ciencia, diferencia, 11, 17, 26, 32
- nominación, pseudoexplicación, 464
- novedad, clases, 556
- conceptual y mecánica cuántica, 93
- – y progreso, 97
- números computados indirectamente, 648
- directamente computables, 649
- objetivación, 607ss
- objetivación, caracterización, 607
- postura operativista, 610

- objetivo y alcance de la ciencia, 24ss
- objeto, concepto, 594
- objetos, clases, 594
 - de conocimiento, construcción, 613
- observabilidad, 599ss
- observabilidad, concepto, 601
- observación, 591ss
- observación actual, elementos, 601
 - proceso, 600
 - caracterización, 591, 599, 601
 - científica, carácter intersubjetivo, 602
 - funciones en la ciencia, 623
 - indirecta, papel científico, 604
 - propiedad indirectamente observable, 604
 - relación con la teoría científica, 604
 - tipos, 599
 - y realidad, relación, 603
- operaciones empíricas, clases, 589
- operativismo, 379
 - crítica, 131
 - y ciencia objetiva, 132
- óptica, estadios, 496
- ordenación, forma de clasificación, 68
 - parcial y completa, 70
- paradigma, un marco y una comparación, un, 168ss
- parámetro, 269
- parapsicología, 34
- Pascal, experimento de, 751
- planteamiento de temas, caracterización, 452
- planteamiento interdisciplinario, 452
- planteamientos científicos, discrepancia, 453
- poder explicativo, 494ss
- positivismo e hipótesis representacionales, 218
 - tradicional y ciencia, 258
- postulado de interpretación, 133
- potencia proyectiva, 539ss
- práctica-acción racional, proceso, 24
- precisión conceptual y proceso del conocimiento, 101
 - de conceptos, punto de vista semántico, 103
- predicados, propiedades semánticas, 210
- predicción, 513ss
- predicción científica, caracterización, 513; *véase* proyección científica
 - y pronóstico ordinario, 555
 - física y previsión histórica, diferencias, 536
 - teoría de Hume, 554
 - y casualidad, 525
 - y retrodicción, relación, 527
- pregunta, trasfondo, 157, 158
 - y respuesta, relación, 153
- preguntas, caracteres relativos, 158
 - contralegales, 160
- premisas subsidiarias, límites, 352
- presupuestos, clasificación, 158
 - concepto, 198
- previsión causalmente efectiva, niveles, 580
 - histórica de novedades, fundamentos, 535
 - objetivos, 535
 - posibilidad, 534
 - y predicción física, diferencias, 536
 - tecnológica, basificación teórica, 583
 - caracterización, 578
 - contrastabilidad, 580
 - fiabilidad, 583
 - fuentes de incertidumbre, 584
 - y pronóstico técnico, diferencias, 582
 - y sistema no predictivo, diferencias, 580
- previsión tecnológica, la, 578ss
- primitivas, desiderata, 431
 - significación factual, 429
 - operacional, 430
- principio de Arquímedes, caso instructivo, 286
 - de covariación, ejemplo de ley científica, 316
 - de legalidad, carácter ontológico, 328
 - confirmabilidad, 326
 - estatuto, 327
- principio de legalidad, excepción aparente, 326
 - función metodológica, 328
 - razones de apoyo, 327
- ontológico de legalidad, 324
- probabilidad: cálculo, modelos, interpretaciones erróneas, 371ss
- probabilidad, concepto dilucidador, 100
 - condicional, concepto, 375
 - y contenido proyectivo, 541
- problema, 145ss
- problema bien concebido, 157
 - formado, reglas, 153
 - formulado, exigencias formales, 157
- científicamente bien formulado, condiciones necesarias y suficientes, 166
- científico, existencia y unicidad de la solución, 165

- relación planteo-solución, 165
- clases de ideas, 150
- concepto y aspectos, 149
- condición necesaria, 156; *véase* problema bien formado, reglas
- filosófico, definición denotativa, 188
- e investigación, relación, 146
- valoración, 148
- problemas acerca de valores veritativos, 150
 - aspecto semántico, 156
 - atómicos, 155; *véase* problemas, formas elementales
- problemas científicos, 161ss
- problemas científicos, carácter no excluyente de su clasificación, 163
 - características propias de sus clases, 161
 - clasificación, 161
 - modos de terminar, 179
 - origen, 163
 - sistematicidad, 168
 - tesis de investigación, 170
 - y acertijos, comparación, 172
 - y escolástica, 146
- combinación, 153
- conjunción, 154
- convenciones, 157
 - de decisión, 156
 - de estrategia, clasificación, 162
 - de la ciencia factual, control de la solución, 172
 - descripción, 171
 - esquema de resolución, 171
 - exploración preliminar, 171
 - formulación, 171
 - interpretación, 172
- problemas de definición, 114ss
- problemas determinados, 151
 - disyunción, 154
 - elaboración, 147
 - elementales, división aristotélica, 156
- problemas elementales, división de Papo y Polyá, 155
 - equivalencia, 155
- problemas filosóficos, 187ss
- problemas, formas elementales, 152
 - fuertes y débiles, 155
 - implicación, 155
 - indeterminados, 152
 - irresolubles, 182, 183
 - existencia, 183
 - legítimamente eliminables, 180
 - moleculares, 155; *véase* problemas, combinación
 - negación, 154
 - oscuros, actitud científica, 158
 - resolubles, 182
 - sobre funciones, 151
 - individuos, 151
 - sustantivos, clasificación, 161
 - triviales, 180
- procedimientos de interpretación, 128ss
- proceso, concepto, 592; *véase* hecho
- profecía, caracterización, 514; *véase* predicción
- profundidad, 545ss
- prognosis, caracterización, 514; *véase* predicción
- progreso conceptual, exportación de ideas, 97
- pronóstico ordinario y predicción científica, 555
- técnico y previsión tecnológica, diferencias, 582
- propiedad y valores numéricos, 55
- proposición, *véase* función proposicional
 - hipotética, 198
 - observacional verdadera, problemas, 719
 - probabilidad condicional, 542
 - proyectiva, carácter sintético, 540
 - contenido proyectivo, 541
 - requisitos, 540
 - valor veritativo, 550
- proposiciones de protocolo, 228
 - elementales, clases, 46
 - factuales simples, contrastación, 719
 - observacionales, problemas de contrastación, 722
 - estimación, 724
 - teoréticas y empíricas, convención, 723
- protociencia, concepto, 25, 32
- proyección, 513ss
- proyección científica, características esenciales, 515
 - conclusiones, 528
 - ejemplos, 516
 - estricta, 529
 - estructura lógica, 516
 - falibilidad, 555
 - laxa, 529

- progreso, 518
- colectiva e individual, 521
- estadística, 528
- proyección estocástica, 520ss
- proyección histórica, 529ss
- proyección histórica, carácter previsivo, 533
- – – retrodictivo, 532
- instrumentos pseudocientíficos, 583
- nomológica, condiciones, 530; *véase* proyección científica estricta
- paradojas, 550
- retrospectiva, 529
- series temporales al azar, 526
- verosimilitud anterior, 542
- – posterior, 542
- y contrastación, 540, 542
- y explicación, diferencias, 516, 557
- proyectabilidad, carácter relativo, 525, 526
- de una teoría, componentes, 546
- proyecto, 693ss
- prueba de la contrastación, 703ss
- pseudociencia, 32ss
- pseudoproblemas, 180
- psicoanálisis, 32, 36

- quimeras, 180

- rabdomancia, 33, 34
- ramas de la ciencia, las, 19ss
- “realidad”, concepto del científico, 51, 557
- realidad y observación, relación, 603
- realismo, 593
- reconstrucción (formalización), 423ss
- reducción, caracterización, 491
- débil, inferencia, 715
- fuerte, inferencia, 715
- reduccionismo, 99
- reductivismo espiritualista, 491
- mecanista, 491
- referencia y evidencia, 434ss
- referición, concepto, 128
- coordinativa, 129
- nominal, 133
- refericiones, conclusión, 132
- operativas, 130
- ostensivas, 128, 129
- refutabilidad, 231; *véase* contrastabilidad
- regla, concepto general, 571
- de designación, *véase* referición nominal
- regla de la ley, la, 322ss
- regla fundada, definición, 572
- fundamentación, 572
- “regla fundamentada”, concepto, 300
- regla tecnológica, la, 571ss
- regla y fórmula nomológica, 575
- reglas, búsqueda de fundamentos, 189
- convencionales, 572
- de significación, *véase* reglas semánticas
- equificientes, 574
- reglas, estadio descriptivo, 11
- géneros, 572
- justificación pragmática, 10
- – teórica, 10
- semánticas, 133
- relación de designación, 52, 53
- de referencia, 51
- *input-output*, 448, 449
- relaciones diádicas, propiedades, 53
- físicas, cuestión, 594
- y clases, extensionalización, 57
- relevancia, criterio, 336
- e hipótesis, 737
- requisitos (hipótesis), 237ss
- requisitos (ley), 309ss
- resolubilidad de problemas, condiciones, 171
- carácter relativo, 183
- resultado, 670
- retrocción científica, 515; *véase* predicción
- y predicción, relación, 527
- retrospección, grupos, 513; *véase* anticipación

- significación, 698ss
- significación como verificabilidad, 125
- significados de “hipótesis”, los, 194ss
- significación, doctrina extensionalista, 64
- – intensionalista, 64
- sentidos, 122, 123
- y contrastabilidad, 125
- signo, significación, 64, 94, 102
- vías de significación, 102
- signos, ambigüedad, 87
- multiplicación, 102
- objetivamente significativos, 124
- silogismo estadístico, 489
- símbolo, interpretación objetiva, 379
- – operacional, 397

- significación nuclear, 64
- símbolos, abstracción semántica, 362
- empíricamente significativos, 123
- formalmente significativos, 123
- significaciones sinónimas y distintas, 64
- sin sentido, 123
- sintaxis, reglas de formación y transformación, 43
- sismología, 440
- sistema de unidades, 658
- experimental, 687
- sistema nervioso de la ciencia, el, 332ss
- sistema no predictivo y previsión tecnológica, diferencias, 580
- semántico, *véase* teoría interpretada
- sintáctico, *véase* teoría abstracta
- taxonómico, *véase* jerarquía
- sistemas concretos, caracterización, 593; *véase* hecho
- “sistemas del mundo”, diferencias, 764
- sistemas semiinterpretados, ejemplos, 368
- sistemática alfa y filogenética, interpretación metodológica, 74, 76
- biológica, 74, 76
- sistemática de conceptos, 79ss
- sistemática preteórica a la teórica, de la, 73ss
- sistemática química, evolución, 76
- y teoría, 77
- sistematicidad, características, 334
- sistematización, 77
- subsunción científica, 471ss
- sueños, objetificación, 609

- táctica científica, la, 13ss
- taxonomía y filogénesis, relaciones, 75
- técnica de casualización, 690
- de cuclillo, 215
- técnicas, 661ss
- técnicas casi universales, 14, 16
- científicas conceptuales, 14
- empíricas, 14
- experimentales, función de control, 687
- tecnología, objetivo, 578
- teorema de deducción, 353-354
- teoremas, división, 354
- funciones, 354
- teoría abstracta, caracterización, 362, 363
- concepto de interpretación, 366
- criterio de consistencia, 385
- teoría abstracta e interpretación, 362ss
- modelo conceptual, 366
- numerable, 381
- factual, 367
- modelos mixtos, 368
- ámbito, 497
- axiomática, base mínima, 357
- caracterización, 351
- de los fantasmas, 419
- definición, 357
- independencia de las primitivas, 386
- de los axiomas, 388
- requisitos formales, 383, 389
- bernoulliniana de la utilidad, 402
- caracterización, 398
- causal de la percepción, 605
- científica, aplicaciones, 457
- caracterización, 332
- construcción, 394, 400
- imperfección, 339
- unidad formal, 342
- material, 342
- vía histórica y orden lógico, 348
- cierre semántico, 429
- como sistematización de datos, crítica, 399
- como un todo, características, 354
- teoría completamente formalizada, composición, 428
- completitud formal, 390
- concepto de potencia explicativa, 501
- conceptos teoréticos, 398
- consistencia formal externa, 384
- interna, 383
- construcción, 359, 395, 407
- contrastación empírica, 755, 760
- convenciones pragmáticas, 428
- de caja negra, 447, 448, 450; *véase* teorías fenomenológicas
- traslúcida, 448, 449; *véase* teorías representacionales
- de grupos, consistencia, 386
- de la probabilidad, cuestiones, 337
- ejemplo de teoría abstracta, 371
- interpretaciones, 376
- modelos, 377
- de los quanta, examen semántico, 253
- inconsistencia semántica, 379

- y determinismo, 255
- definición, punto de vista lógico, 355
- del electrón, evolución, 437
- del orden parcial, ejemplo de teoría abstracta, 363
- — — interpretaciones, 365
- del origen de los organismos, 767
- del refuerzo, ejemplo de formalización, 526
- teoría dinámica, 394ss
- teoría dualista de la verdad, 551
- economía formal, 389
- eje científico, 332
- eficiencia tecnológica, 566
- teoría estática, 332ss
- teoría factual, axiomatización, 351, 352
- — — clases de premisas, 352
- — — consideración evidencial, 434
- — — referencial, 434
- — — consistencia semántica, 342
- — — contrastabilidad, 437
- — — contrastación empírica, 439
- — — evidencia desfavorable, 443
- — — formalizada, fundamentos, 425, 429
- — — premisas subsidiarias, 352
- — — reglas evidenciales de interpretación, 436
- — — referenciales de interpretación, 436
- — — significación, 435
- — — supuestos iniciales, 345
- — — falsa, razones de su eficiencia, 566
- — — formal formalizada, fundamentos, 425
- — — y teoría formalizada, diferencias, 389
- — — formalización, 423
- — — formalizada, concepto, 389
- — — grados de imprecisión, 545
- — — ideas heurísticas de construcción, 395
- teoría incompleta e irresolubilidad, 391
- interpretación equivoca, 429
- interpretada, componentes, 379
- lógicamente reconstruida, 423
- matemática de la ciencia factual, concepto, 410
- — — de la congruencia, 424
- medida del rendimiento proyectivo, 544
- natural, 395
- operaciones previas a contrastación, 754
- originalidad, 545
- postura escéptica, 757
- precisión, 497
- proceso de contrastación, 756
- profunda, definición, 447
- profundidad, 446
- rendimiento actual, 498
- — — explicativo, 497
- — — proyectivo, 544, 545, 548
- — — proyectivo relativo, 544
- — — relativo, 499
- semánticamente inconsistente, concepto, 379
- síntesis de las hipótesis del descubridor, 401
- subconjuntos del ámbito de una, 498
- tecnológica operativa, rasgos científicos, 563, 564
- utilidad de la matemática, 409
- valor veritativo, 758
- valoración explicativa, 495
- y dato, 357
- y jerarquía, diferencia, 71
- y realidad, relación, 337
- y sistemática, 76, 77
- teorías axiomáticas, fórmulas, 353
- científicas, conceptos básicos, 347
- — — criterios de estimación, 767
- — — modelos ideales, 337
- — — niveles de profundidad, 445
- — — y tecnológicas, comparación valorativa, 564
- conceptualmente equivalentes, 763
- consejos de construcción, 404
- controversias científicas, 764
- criterio de potencia explicativa, 497
- de la luz, secuencia, 495
- demolición, 405
- e interpretación, 133, 134
- empíricamente equivalentes, 763
- factuales, carácter abocetado, 338
- — — simbólico, 338
- — — grado de verdad, 771
- — — falta de técnicas de construcción, 403
- fenomenológicas, 447
- — — desventajas, 451
- — — propiedades, 450
- — — valoración, 451
- — — grados de formalización, 397
- teorías, inexistencia de criterios de decisión 771
- isomórficas, 492
- matemáticas de la ciencia, división, 410
- — — ventajas, 417
- — — metateóricas, 418

- no axiomáticas, fórmulas, 352, 353
- naturales no formalizadas, 397
- profundas, características, 446
- representacionales, 447
- rivales, 763
- solapamiento parcial de las bases predicativas, 492
- – – de las bases axiomáticas, 492
- técnicas de liquidación, 405
- tecnológicas operativas, concepto, 563
- – – sustantivas, concepto, 563
- – – y operativas, ejemplos distintivos, 563
- – y científicas, comparación valorativa, 564
- teorización, comienzo, 335, 338
- generalización, 403, 412
- invención, 402, 403
- objetivos básicos, 335
- – adicionales, 335
- rasgos, 402
- simplificación, 402, 412
- término y concepto, 50ss
- términos descriptivos, 52
- sincategoremáticos, 52
- Torricelli, pasos de su razonamiento, 748
- supuesto de, 746

- Una historia ejemplar: Torricelli, 746ss
- unidad conceptual, la, 342ss
- universo del discurso, 736

- vaguedad, alcance metodológico, 90
- conceptual, formas de transición, 91
- dilucidación, 94
- extensional, 88, 89
- intensional, 88
- total, 89
- vaguedad y casos limítrofes, 87ss
- validez conceptual, criterio general, 140
- – y filosofía, 140
- – y verdad, confusión, 419
- valor medido, 638ss
- valor medido y valor real, discrepancia, 639
- variable, 267
- dependiente, 268-269
- independiente, 268
- variables e invariables, 265ss
- variables cardinales, 268
- clases según niveles integrativos, 282
- cualitativas, 268
- variables extralógicas, clases, 268
- factuales, clases, *véase* variables extralógicas, clases
- grado de correlación, 274, 276
- individuales o de objetos, 267
- lógicas, clases, 267
- variables ordinales, 368
- predicativas, 267
- proposicionales, 267
- recíprocamente irrelevantes, 274
- – relevantes, 274
- verdad aproximada, *véase* verdad parcial
- concepto, 720
- empírica, carácter, 552
- factual, carácter, *véase* verdad empírica
- – interés de su búsqueda, 731
- parcial, 721
- verdad y acción, 562ss
- verdad y validez, confusión, 419

impreso en impresora castillo hermanos, s.a. de c.v.
camelia núm. 4
col. el manto, iztapalapa
25 de junio de 2004