

CAPÍTULO 14

EXPERIMENTO

14.1. Cambio Planificado

14.2. Control

14.3. Proyecto

14.4. Significación

14.5. Prueba de la contrastación

14.6. Funciones

El experimento científico es la más rica de todas las formas de experiencia humana: añade a la observación el control de ciertos factores en base a 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 cognositiva*. 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 Secc. 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 (cfr. 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. En el primer caso podemos hablar de control pasivo, en el segundo de control activo.

ACÁ VA EL GRÁFICO DE LA PÁG. 820 DEL LIBRO.

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 cuantitativo 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 planee 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. Consecuencia 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 teorías 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 (cfr. Secc. 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. 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 --> Cal + Flogístico [14.1]

Cal + Flogístico --> 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 datoistas, 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 habla 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.

ACÁ VA EL DIBUJO DE LA PÁG. 823 DEL LIBRO.

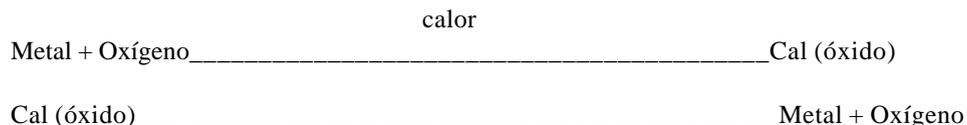
Experimento # 2: Descomposición del polvo rollizo (Fig. 14.3). El polvo rojizo obtenido en el anterior experimento se calienta en un recipiente de vidrio herméticamente cerrado, por medio de un intenso haz de luz. Se observan los siguientes hechos. Primero: se forma poco a poco mercurio puro a partir 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.

ACÁ VA EL DIBUJO DE LA PÁG. 824 DEL LIBRO.

Esas 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 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, cfr. Seccs. 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 aparecen 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 y/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 h2 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. Cfr. E. GREENWOOD, *Experimental Sociology*, New York, Kings 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. CABRIEL and S. FOGEL, *Great Experiments in Biology*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1955.

14.1.8. ¿Es posible realizar experimentos en geología, en biología de la evolución 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*, dirigida por T. Heyerdalil 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 (1959), 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. *Problema en lugar de ése*: Hacer lo mismo con la ética.

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 (cfr. 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, cfr. Secc. 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 sospechas, 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, cfr. Secc. 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* (Cfr. 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).

ACÁ VA EL DIBUJO DE LA PÁG. 831 DEL LIBRO.

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 aproximada 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 (Cfr. Fig. 14.5). Hay dos clases principales de control estadístico: control de distribuciones y obtención de una muestra al azar.

ACÁ VA EL DIBUJO DE LA PÁG. 832 DEL LIBRO.

El control de distribuciones se practica cuando se puede poner en ecuación ciertos para otros estadísticos, como los promedios, las dispersiones (desviaciones standard) 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 ir 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 en base a 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 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 "infiere" que aquella 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 probabilística 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 plantarse 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 casos, simplemente porque no se le ocurrió que la temperatura pudiera ser una variable relevante en ellos. (ii) L. Thomas descubrió por casualidad que inyectando papafna 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. Cfr. B. BARBEU and R. C. Fox, "The Case of the Floppy-Eared Rabbits: An Instance of Serendipity Gained and Serendipity Lost», en B. Barber and W. Hirsch, eds., *The Sociology of Science*, New York, The Free Press, 1962.

14.2.4. Antes de que se adoptaran en los U. S. A. 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? Indicación: ¿habría que tener ese mismo cuidado en experimentos con ratones?

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. Dar algunas ilustraciones del uso del control estadístico en la formación de grupos.

14.2.7. Imagínese un experimento para poner a prueba la hipótesis freudiana de que la conducta agresiva es instintiva. Véase V. H. DENENBERG, "Rat pax", *Psychology Today*, 3, No. 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; cfr. H. BONDI, *Cosmology*, 2nd 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 Heiserberg- en la investigación pura. Cfr. K. R. POPPER, *The Logie of Scientific Research*, 1935; edición inglesa, London, Hutchinson, 1959, Appendix 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 aplicada. En particular, estimar el lugar de las calculadoras y la tesis de que el experimento mental desplazará un día el experimento efectivo. Cfr. R. L. ACKOFF, *Scientific Method: Optimizing Applied Research Decisions*, New York and London, Wiley, 1962, chap. 11; H. GuETzKow, ed., *Simulation in Social Science*, Readings, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1962, y R. W. H-NG, "Intellectual Implications of the Computer Revolution", *American Mathematical Monthly*, 70, 4, 1963.

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: ¿Surgió 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 (Cfr. 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 habla vuelto turbia y rojiza. Las pruebas de identificación mostraron que se habían formado tres aminoácidos diferentes, entre ellos la alpha-alanina, CH₃-CH-NH₂-COOH.

Experimento # 2: Tratamiento de las neurosis por inhibición recíproca: J. WOLPE, British Journal of Psychology, 43, 243, 1952. Problema: ¿Está

ACÁ VA EL DIBUJO DE LA PÁG. 838 DEL LIBRO.

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 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 hablan inhibido la alimentación (inhibición recíproca). Procedimiento de contrastación: Se da ahora alimento a esos mismos gatos en ausencia de estímulos suscitadores de ansiedad, y Juego 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 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. SHERIFF, 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, New 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 descen-

dencia 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.

Experimento # 5. Dependencia del rendimiento respecto de la motivación: H. J. EYSENCK, *Scientific American*, 208, nro 5, 1963. *Problema:* ¿Es la motivación relevante para el rendimiento, y, de serlo, cómo? *Hipótesis:* Cuanto mayor 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 el rendimiento en 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 (de que hay videntes metanaturales)? *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 microfotografian 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 descritos 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, puede rechazarse con la consideración de que los animales que aprenden más despacio no son acaso los más obtusos, sino los más tímidos y, por tanto, los más intensamente afectados por el medio o ambiente experimental (objeción de L. V. Searle, 1949). 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 en base a 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. Cfr. R. A. FISHER, *The Design of Experiments*, 6th edition, Edinburgh and London, Oliver and Boyd, 1951, chap. 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 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. Se encontrará un punto de vista optimista sobre esta cuestión en J. WEBER, *General Relativity and Gravitational Waves*, New York, Interscience, 1961, chap. 5.

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*: La regla áurea de la filosofía empirista del experimento científico es "Purgar la mente de ideas preconcebidas (*dola*, hipótesis, teorías), tener paciencia y afilar la atención, y así recoger laboriosamente todas las observaciones casuales que puedan presentarse: la verdad surgirá entonces espontáneamente (por puro azar)". ¿Es esa regla compatible con la mera idea de proyección e interpretación del experimento con la ayuda de la teoría científica?