

XVII LOS PRINCIPIOS DE LA DETERMINACIÓN CAUSAL

“La primera tarea, por lo tanto, de la verdadera inducción (en lo que toca al descubrimiento de formas) es el rechazo o la exclusión de las varias naturalezas que no se encuentran en algún caso en que la naturaleza dada está presente, o que se encuentran en algún caso en que la naturaleza dada está ausente, o se descubre que aumentan en algún caso en que la naturaleza dada disminuye, o disminuyen donde la naturaleza dada aumenta” —FRANCIS BACON

§ 1 *La búsqueda de las causas*

LA ETAPA más temprana de la investigación científica toma la forma de una búsqueda de las causas de las ocurrencias. No hay dos conjuntos de ocurrencias que difieran tan sólo en sus características espaciales y temporales, en consecuencia, la primera etapa en cualquier investigación inductiva es la determinación de ciertos factores como impertinentes. Mediante la acumulación de juicios de impertinencia el problema se reduce a la investigación de una región comparativamente restringida. A menudo nos enfrentamos a un problema de determinación de la causa de una ocurrencia que acontece en condiciones con las cuales estamos bastante familiarizados. Hay ciertos principios definidos de acuerdo con los cuales se lleva a cabo tal investigación causal. La situación compleja debe ser analizada hasta desglosar sus factores constituyentes, a fin de determinar cuáles de ellos son conjuntamente suficientes e independientemente necesarios para que se produzca la ocurrencia dada. Por ejemplo, un vaso en el cual se acaba de verter agua caliente, se raja. Podría suponerse que el agua caliente es la causa suficiente del vaso rajado. Tal suposición está de acuerdo con la concepción de causa del sentido común. El vaso sobre una mesa es una situación en la que un nuevo factor, *contacto del vaso con agua caliente*, ha sido introducido. La introducción de este factor es seguida por un cambio en el vaso. De consiguiente, este factor es considerado como la causa del cambio. Ahora bien, si el agua caliente vertida en otro vaso colocado junto al primero no tiene el mismo resultado, concluimos que el verter agua caliente en un vaso no es

una circunstancia suficiente para la producción del efecto. Esta conclusión se basa en el supuesto de que un factor que está presente, aunque el efecto dado no ocurra, no es la causa de ese efecto. Los dos vasos deben entonces ser examinados a fin de determinar si puede hallarse alguna diferencia entre ellos que sea pertinente a la diferencia en el resultado. Se descubre entonces que los dos vasos difieren en espesor. Podría ser también el caso que difirieran en color. La experiencia previa puede haber mostrado que la diferencia en color no sería pertinente a la diferencia en el resultado. Queda por indagar si la diferencia en espesor es pertinente. Si supiéramos que diversas sustancias se expanden al ser calentadas, deberíamos reconocer que la diferencia en espesor es un factor adicional suficiente para explicar la diferencia en el resultado. Debemos concluir, entonces, que la superficie interior del vaso más grueso se expande antes de que la superficie exterior se haya calentado, y que, en consecuencia, esta expansión causa que el vaso se rajé. El vaso más delgado se calienta más uniformemente, de suerte que no se produce una rajadura. Si no se hubiese observado el caso del vaso delgado, el primer caso podría haber sido generalizado en la proposición causal *El agua caliente vertida en un vaso, lo raja*. La consideración del segundo caso conduce a la afirmación más exacta: El agua caliente causa la expansión del vaso, un vaso de cierto espesor se expandirá en la superficie a la cual es aplicada el agua caliente antes de que la superficie exterior sea calentada; la expansión de la superficie interior del vaso causa la rajadura del vaso.

Es importante observar que tal investigación presupone una considerable cantidad de conocimiento previo pertinente a la situación. La importancia del conocimiento pertinente difícilmente puede exagerarse. Cualquiera que investigue con buen éxito un problema relativo a la causa de una ocurrencia está en posesión de conocimiento pertinente, pero no necesita ponderar su pertinencia. Puede darla por descontada, puesto que su objeto es el descubrimiento de un factor causal, no el examen del método mediante el cual se descubre. Sin embargo, cuando estamos considerando, como lógicos, la naturaleza de los principios de acuerdo con los cuales pueden determinarse las causas, nuestro problema no es práctico sino teórico. De consiguiente, examinamos *un problema que ha sido resuelto*. El problema, tal como se le enuncia en un texto de lógica, ha sido transformado en un espécimen de museo. La consideración de especímenes de museo es útil para el estudiante de la naturaleza que puede relacionar el espécimen con su medio ambiente natural. Al hacerlo así, el estudiante está consciente de que trabaja con un espécimen colocado en un aislamiento artificial. El estudiante de lógica se encuentra en una posición similar. Debe estudiar ejemplos de investigación científica que han sido aislados artificialmente en mayor o menor medida. Su estudio será fructífero sólo en la medida en que él esté consciente de las limitaciones de su indagación. Es importante, pues, recordar que

en este capítulo nos interesa un problema muy restringido, a saber, la formulación precisa de ciertos principios envueltos en la determinación de factores causales dentro de un campo de investigación limitado

El análisis de una situación causal hasta reducirla a sus factores constituyentes puede entrañar la separación literal de los factores, es decir, el análisis físico, o puede entrañar el aislamiento sólo en el pensamiento. Aquellas ciencias en que el análisis físico es posible, son ciencias experimentales en el sentido más estrecho de "experimental". El rápido avance de tales ciencias se debe al hecho de que, cuando las condiciones pueden ser variadas, es posible determinar qué es impertinente. Tal análisis se guía por dos principios que se desprenden directamente de la naturaleza de una causa. Estos principios son: (1) Nada que esté ausente cuando un efecto ocurre es la causa de ese efecto; (2) Nada que esté presente cuando un efecto deja de ocurrir es la causa de ese efecto. De consiguiente, al buscar la causa de un suceso A, deberemos buscar casos en que A esté presente y casos en que A esté ausente, y estos casos deben ser tales que muchos factores presentes en el primer conjunto de casos estén presentes también en el segundo conjunto, no obstante la ausencia de A.

§ 2 *Un ejemplo de investigación experimental*

El experimento es posible únicamente cuando el campo de indagación está limitado dentro de una extensión bastante bien definida. El experimentador debe tener un conocimiento más o menos detallado acerca de las alternativas que son posibles bajo ciertas condiciones. Es cierto que algunas veces han ocurrido resultados inesperados, mientras que algunos experimentos realizados en la confiada expectación de un resultado dado no han producido resultado observable alguno. Tal resultado completamente negativo puede tener una significación considerable, siempre y cuando que la situación en su conjunto sea bien comprendida. Éste fue el caso del famoso experimento Michelson-Morley para descubrir el flujo del éter.¹ Pero, a menos que los detalles de la situación se aprehendan claramente, es imposible hacerse ninguna pregunta significativa. Experimentar es hacerse tales preguntas.

Ahora examinaremos con cierto detenimiento una investigación experimental llevada a cabo por el famoso científico francés Louis Pasteur. El propósito de éste era el de determinar las condiciones bajo las cuales se generaban ciertos microorganismos. Pasteur se propuso ofrecer evidencia para refutar la teoría de la generación espontánea. Ésta era la teoría de que ciertas clases de organismos vivientes eran generados a partir de materia inorgánica. Aunque se reconocía que en la mayoría de los casos los organismos son producidos por proge-

¹ Véase p 452 n, más adelante

tores cuya descendencia tendía a parecerseles, se creía que ciertas formas de vida podían producirse a partir de la tierra y de materia animal y vegetal en descomposición. Había evidencia que aparentemente favorecía esta concepción. En la carne putrefacta se crían gusanos y larvas, a veces se encuentran larvas en el corazón de las manzanas, las peras y otras frutas blandas cuya cáscara no está perforada. Después del descubrimiento del microscopio se descubrieron organismos diminutos en el agua de lluvia y en cualquier líquido que hubiera sido expuesto al aire. Estos pequeños organismos fueron llamados "infusorios", y los líquidos en que se generaban fueron descritos como "putrefactibles".

Pasteur se fijó la tarea de mostrar que cuando todos los organismos vivientes son cuidadosamente excluidos del contacto con estos líquidos, ningún organismo aparece en ellos, y que, en consecuencia, no existe evidencia en favor de la generación espontánea de los infusorios. Pasteur registró su investigación experimental en una *Memoria* presentada a la Academia de Ciencias de Francia en 1862.² Comenzó con un resumen histórico de la posición de la teoría, del cual citamos a continuación los párrafos iniciales:

"En los tiempos antiguos y hasta la Edad Media todo el mundo creía en la aparición de las generaciones espontáneas. Aristóteles dice que los animales son engendrados por todas las cosas secas que se humedecen y por todas las cosas húmedas que se secan.

"Van Helmont describe la manera de dar existencia a los ratones.

"Aun en el siglo xvii, muchos autores ofrecen métodos para producir ranas a partir del fango de los pantanos, o anguilas a partir del agua de los ríos.

"Tales errores no pudieron sobrevivir mucho tiempo al espíritu de investigación que surgió en Europa en los siglos xvi y xvii.

"Redi demostró que los gusanos en la carne putrefacta eran larvas de los huevos de moscas. Sus pruebas eran tan sencillas como decisivas, pues él mostró que al rodearse la carne putrefacta con gasa fina se impedía absolutamente la aparición de estas larvas."

Estos experimentos eran, como dice Pasteur, muy sencillos. Redi puso gasa sobre la carne, cuyo olor pasaba a través de la gasa y atraía a las moscas. Estas ponían huevos sobre la gasa, de estos huevos nacían larvas que, de no haber estado allí la gasa, habrían nacido en la carne. Posteriormente, otro científico italiano mostró que los gorgojos en las frutas proceden de huevos depositados por insectos antes de que las frutas se hayan desarrollado. Así se suministró evi-

² *Memoir on the organized corpuscles which exist in the atmosphere* W. C. D. y M. D. Whetham ofrecen extractos de esta *Memoria* en *Cambridge Readings in the Literature of Science*. Todas las citas están tomadas de esta obra, a menos que se especifique lo contrario. Mi descripción de esta investigación ha sido tomada de esta *Memoria* y de la *Vida de Pasteur*, de VALLEY RADOT (Pasteur vivió de 1823 a 1895).

dencia para explicar algunos de los hechos sobre los cuales se había basado la teoría de la generación espontánea y que ahora se interpretaban como decisivamente contrarios a esa teoría. El descubrimiento del microscopio, sin embargo, pareció ofrecer nuevo apoyo a la teoría. Como continúa diciendo Pasteur:

“Pero en la segunda parte del siglo xvii y en la primera del xviii, el número de observaciones microscópicas aumentó rápidamente. La doctrina de la generación espontánea reapareció entonces. Algunos científicos, incapaces de explicar el origen de los variados organismos que el microscopio mostraba en sus infusiones de materia animal o vegetal, y no viendo nada entre ellos que se pareciera a la reproducción sexual, se vieron obligados a suponer que la materia que una vez ha vivido conserva después de su muerte una fuerza vital especial, bajo cuya influencia sus partículas dispersas se vuelven a unir bajo ciertas condiciones favorables con variedades de estructura determinadas por estas condiciones.

“Otros, por el contrario, usaron su imaginación para extender las maravillosas revelaciones del microscopio, y creyeron haber visto machos, hembras y huevos entre estos infusorios, y en consecuencia se erigieron en adversarios abiertos de la generación espontánea.”

Pasteur añade “Debemos reconocer que la prueba en apoyo de cualquiera de estas opiniones apenas resiste el examen.”³

El problema que Pasteur tenía que resolver era el de explicar el desarrollo de microorganismos en líquidos putrefactibles. Aquellos que apoyaban la hipótesis de la generación espontánea mantenían que los diminutos organismos revelados por el microscopio se producían espontáneamente en cualquier líquido, aun cuando éste hubiese estado originalmente libre en absoluto de tales organismos. El principal exponente contemporáneo de esta teoría, Pouchet, y sus dos discípulos, Joly y Musset, al sostener la teoría de la heterogenia o generación espontánea, afirmaban que “ellos no propugnaban una creación a partir de la nada, sino la producción de un nuevo ser organizado, carente de progenitores, y cuyos elementos primordiales eran derivados de la materia orgánica ambiente.”⁴ A Pasteur, esta teoría le parecía extremadamente implausible. Le escribió a Pouchet señalándole que no se había ofrecido ninguna evidencia decisiva en favor de la teoría. “Pienso —decía— que usted está equivocado, no al creer en la generación espontánea (pues es difícil, en tal caso, no tener una idea preconcebida), sino al afirmar la existencia de la generación espontánea. En la ciencia experimental, siempre es erróneo no dudar cuando los hechos no obligan a la afirmación. En mi opinión, el problema permanece entero e intocado por pruebas decisivas. ¿Qué hay en el aire que provoca la organización? ¿Hay gérmenes?, ¿se trata de un sólido?, ¿se trata de un gas?, ¿se trata de un

³ *Loc cit*, pp 217-218

⁴ *Life of Pasteur*, I, p 123

fluido?, ¿es un principio como el ozono? Todo esto se desconoce e invita al experimento”⁵ En esta carta, Pasteur revela la disposición científica. Es necesario estar guiado por una hipótesis; pero no debe afirmarse ninguna hipótesis a menos que esté adecuadamente apoyada por evidencia experimental. Pasteur, por lo tanto, se propuso —como lo explicó en la *Memoria* que describe los frutos de su trabajo— “ofrecer pruebas seguras y decisivas, obligando a las mentes no prejuzgadas a rechazar toda idea de la existencia en la atmósfera de un principio más o menos misterioso —gas, fluido, hueso, etcétera— que tenga la propiedad de suscitar la vida en las infusiones”⁶

Estas “pruebas seguras y decisivas” sólo podrían suministrarse —y él lo vio con claridad— por medio de experimentos tan cuidadosamente conducidos que todas las condiciones estuviesen controladas. Sólo de esta manera sería posible analizar los factores comprendidos. Pasteur estaba absolutamente consciente de la dificultad de realizar experimentos decisivos. Escribiéndole a su padre acerca de la oposición de Pouchet y Joly, decía: “Ellos no saben experimentar. No es un arte fácil; requiere, además de ciertas cualidades naturales, una larga práctica que los naturalistas generalmente no han adquirido en estos días”⁷ Entre las cualidades naturales que se requieren está la habilidad para pensar claramente cuáles son los factores pertinentes cuya presencia o ausencia ha de probarse. Pasteur se preguntó si los diminutos organismos que se desarrollan en agua esterilizada podrían haber provenido del aire. De ser así, entonces las pequeñas partículas sólidas que pueden verse flotando en el aire, llamadas polvo atmosférico, contendrán gérmenes. Por lo tanto, dijo Pasteur: “Mi primera preocupación fue encontrar un método que permitiera recoger las partículas sólidas que flotan en el aire y estudiarlas bajo el microscopio. El método que utilicé para recoger y examinar el polvo suspendido en el aire, es muy sencillo; consiste en filtrar un volumen conocido de aire a través de algodón pólvora, que es soluble en una mezcla de alcohol y éter. Las partículas sólidas se acumulan en las fibras del algodón. El algodón es tratado entonces con su solvente, y después de cierto tiempo todas las partículas sólidas caen en el fondo del líquido, se las lava varias veces y se les transfiere a la etapa del microscopio, donde son examinadas cuidadosamente.” Este experimento mostró que “el aire ordinario siempre contiene un número variable de corpúsculos cuya forma y estructura revelan su naturaleza orgánica”

Pasteur se preguntó entonces: “¿Existen realmente gérmenes fértiles alrededor de los corpúsculos?” Para encontrarle respuesta a esta pregunta, Pasteur ideó experimentos bajo condiciones variadas. Se sabía que los líquidos diferían en el grado en que eran putrefactibles. El agua de levadura azucarada es un líquido sumamente putrefactible

⁵ *Ibid.*, p 122

⁶ *Memoirs*, p 226

⁷ *Life of Pasteur*, p 125

Pasteur puso cierta cantidad de este líquido en una redoma, selló el cuello de ésta y, habiendo hervido el agua durante dos o tres minutos, la dejó enfriar. La redoma, que había estado ocupada sólo a medias por el líquido, se dejó llenar entonces lentamente de aire ordinario que había sido calentado. Luego se cerró el cuello de la redoma. Ésta se mantuvo durante largo tiempo a una temperatura constante de 30° C. No apareció ningún organismo diminuto. Pasteur resumió así los resultados de este experimento:

“Afirmo con la mayor sinceridad que nunca he obtenido un resultado dudoso de un experimento de esta clase. El agua de levadura azucarada, hervida durante dos o tres minutos y luego expuesta al aire que ha sido calentado, nunca se altera en absoluto, aun después de dieciocho meses a una temperatura de 25° a 30°, mientras que si uno la abandona al aire ordinario, después de un día o dos se advierte en ella un cambio manifiesto, llenándose de bacterias y vibriones o cubriéndose de mohos.”

Estos experimentos bastaron a mostrar que el aire ordinario contiene corpúsculos organizados que se asemejan íntimamente a los gérmenes de los organismos inferiores, y que el agua de levadura azucarada, que es sumamente putrefactible en contacto con el aire ordinario, permanece inalterada cuando se la deja en contacto con aire calentado. Pasteur tenía que determinar ahora si el solo polvo atmosférico podía producir infusorios o mohos. Hasta que esto se estableciera, quedaba la posibilidad de que algo en el aire, distinto del polvo, fuera la causa de la putrefacción. Pasteur, en consecuencia, ideó un experimento ingenioso y elaborado por medio del cual pudo introducir polvos atmosféricos recogidos en un pedazo de algodón (de la manera descrita en el experimento anterior) dentro de estos líquidos, en presencia de aire calentado. Pasteur hizo redomas de cuellos alargados. Una de éstas tenía un cuello largo y delgado que, cuando el líquido había sido vertido en la redoma y hervido, se curvaba y aguzaba hasta formar una punta que quedaba abierta, en comunicación con el aire. El líquido en la otra redoma se hacía hervir y se dejaba enfriar asimismo, con el cuello del recipiente abierto al aire. El líquido en la redoma con el cuello curvo permanecía puro, el líquido en la otra redoma desarrollaba infusorios. La única diferencia en el tratamiento de las dos redomas era que, en el primer caso, el cuello curvo permitía la entrada del aire, pero los polvos no pasaban debido a lo reducido de la abertura, se quedaban en el cuello curvo. Así, pues, en ambos casos, todo lo que había en el aire, excepto los polvos, entraba en ambos líquidos; los polvos entraban en un solo líquido. Ese líquido desarrollaba infusorios. Sin embargo, si la redoma que contenía el agua pura era agitada violentamente, aparecían infusorios. La agitación violenta hacía que el aire entrara en el cuello con suficiente violencia para arrastrar los polvos con él.

Quedaba, sin embargo, un factor adicional que podría haber sido

pertinente El algodón en que se recogía el polvo era una sustancia orgánica Podría, por lo tanto, haber dado origen a los organismos Pasteur, de consiguiente, sustituyó el algodón por asbesto, usando así un filtro mineral en lugar de uno orgánico Él describe así su procedimiento

“Uno podría tal vez preguntarse si, en los experimentos anteriores, el algodón, como una sustancia orgánica, ejercía alguna influencia en los resultados Sería útil saber, sobre todo, qué sucedería si se realizaran manipulaciones similares en redomas preparadas en la forma que hemos descrito, sin los polvos atmosféricos En otras palabras, ¿ha ejercido alguna influencia propia el método de introducir los polvos? Es indispensable saber esto

“A fin de dar respuesta a estas preguntas, reemplacé el algodón con asbesto Introduje motas de asbesto en las redomas, de acuerdo con las instrucciones anteriores, y produjeron resultados exactamente iguales a los que acabamos de mencionar Pero con motas de asbesto previamente calcinadas y no llenas de polvo, o llenas de polvo pero calentadas después, nunca se produjeron ni turbiedad, ni infusorios, ni plantas de ninguna clase El líquido permaneció perfectamente claro He repetido estos experimentos comparativos muchas veces, y siempre he quedado sorprendido por su claridad, por su perfecta constancia Parecería, ciertamente, que los experimentos de esta delicadeza deberían mostrar algunas veces resultados contradictorios debidos a causas accidentales de error Pero en ninguna ocasión mostraron mis análisis preliminares acrecencia alguna, del mismo modo que la diseminación de los polvos siempre produjo organismos vivientes”

Pasteur varió estos experimentos tomando especímenes de aire de diferentes lugares: de sótanos de laboratorios, de la ciudad de París, de distritos rurales, de alturas alpinas, y aun de un glaciar A menor concentración de polvos atmosféricos, mayor pureza del aire Encontró en todos los casos que el contacto con el aire más puro producía un grado menor de putridez De tal suerte, Pasteur tuvo gran cuidado de variar hasta el máximo posible cualquier condición que pareciera ser pertinente a la producción del efecto que él investigaba Sus experimentos fueron ejecutados a lo largo de un periodo de años, y tuvieron un éxito tan uniforme que él bien podía considerar el resultado como concluyente Le había dado respuesta a la pregunta que se había hecho y que ya hemos citado: “¿Qué hay en el aire que provoca la organización?” Había mostrado que no era un gas, ni un fluido, ni un principio tal como la “fuerza vital”, sino un germen

A estas alturas podemos preguntarnos ¿Qué había establecido concretamente Pasteur? Él no había mostrado que la biogénesis es la única hipótesis posible para explicar la existencia de organismos vivientes Pero sí había mostrado decisivamente que no existía evidencia en favor de la generación espontánea de microorganismos en líquidos putrefactibles Había explicado la aparición de tal evidencia

mediante la demostración de que ésta se debía a que se pasaba por alto ciertos factores pertinentes a la producción del resultado. Había analizado los factores involucrados y había mostrado que un factor, a saber, los *corpúsculos organizados sumamente parecidos a los gérmenes de los organismos inferiores*, era suficiente para la producción del resultado, y necesario en todos los casos investigados. Siempre que este factor estaba presente, aparecían infusorios; siempre que estaba ausente y las condiciones pertinentes seguían siendo las mismas, no se producían tales organismos. Pasteur había destruido la base evidencial de la teoría de la generación espontánea, y en consecuencia había mostrado no sólo que la hipótesis era implausible, sino también que era estéril. No había mostrado, ni es probable que hubiese deseado pretender tal cosa, que la producción sintética de organismos vivos en un laboratorio es imposible. Una consecuencia adicional de su investigación consistió en haber echado los cimientos de la moderna ciencia de la bacteriología. En una significativa afirmación contenida en un informe sobre su trabajo, presentado a la Academia de Ciencias de Francia en 1880, decía Pasteur: "Lo más deseable sería llevar estos estudios lo suficientemente lejos para abrir el camino a una investigación seria del origen de diversas enfermedades"⁸. Es bien sabido que el resultado del trabajo de Pasteur fue abrir el camino a esta investigación ulterior. Sus investigaciones experimentales condujeron a la formulación de generalizaciones acerca de la conexión entre microorganismos específicos y enfermedades específicas. Fue el comienzo de una organización sistemática de una rama del conocimiento.

Un examen de la investigación de Pasteur pone de manifiesto varios puntos de la mayor importancia por lo que se refiere a la indagación experimental. Será provechoso resumirlos aquí:

(1) La investigación debe estar determinada por una interrogante formulada con precisión suficiente para guiar la indagación.

(2) La situación compleja de la cual parte el investigador debe ser analizada cuidadosamente en sus factores constituyentes.

(3) Todas las condiciones pertinentes deben ser cuidadosamente observadas y tenidas en cuenta a lo largo de todo el transcurso de la indagación. Se podrían dar numerosos ejemplos de resultados erróneos debidos al descuido de algún factor pertinente. Los investigadores anteriores de la teoría de la generación espontánea habían fracasado frecuentemente en este aspecto. Por ejemplo, Needham —un sacerdote inglés del siglo xviii— pretendía haber obtenido infusorios en vasos que se habían llenado con líquido putrefactible, hervidos y después cerrados. Pero él había cerrado los vasos con tapones de corcho lo suficientemente porosos para dejar pasar microorganismos. Un adversario contemporáneo, el abate Spallanza, repitió este experi-

⁸ Citado por VALLERY RADOT, *op cit*, I, p 128

mento con mayor cuidado. Lo describe así: "Utilicé vasos herméticamente sellados. Los mantuve durante una hora en agua hirviendo, y después de haberlos abierto y de haber examinado su contenido durante un tiempo razonable, no encontré el más leve rastro de animalculos, pese a que examiné con el microscopio los infusorios de diecinueve vasos diferentes" ⁹

(4) Los factores pertinentes deben hacerse variar uno a uno. Pasteur observó esta condición cuando preparó redomas que sólo diferían en la circunstancia de que el polvo podía pasar por el cuello de una, pero no de la otra ¹⁰

(5) Aquellas circunstancias que se suponen son impertinentes deben variarse tanto cuanto sea posible a fin de probar si son realmente impertinentes. De acuerdo con este requisito, Pasteur substituyó el algodón por un filtro mineral (asbesto)

(6) Debe tenerse el mayor cuidado posible para no introducir factores inadvertidos que puedan ser pertinentes al resultado. La inobservancia de la condición (2) conduce frecuentemente a la violación de esta regla de la indagación experimental.

Estas reglas enuncian las condiciones que deben observarse a fin de que los experimentos puedan realizarse de tal manera que sean decisivos en la investigación científica. Podemos resumirlas en la siguiente fórmula: El análisis de la situación dada y el control de las condiciones de modo que todos y cada uno de los factores pertinentes puedan hacerse variar uno a uno, son las precondiciones esenciales de la investigación científica experimental.

No es fácil observar estas reglas con exactitud. El investigador debe reconsiderar constantemente sus experimentos de suerte que pueda preguntarse si acaso no ha estado suponiendo que algún factor es impertinente cuando acaso podría resultar pertinente. El investigador necesita la habilidad y el conocimiento para sugerir lo que probablemente podría suceder si él introdujera algún factor que todavía no estuviese presente en sus experimentos. Resulta claro que el trabajo de Pasteur posee estas características. Su biógrafo reclama para Pasteur "una mente que, mientras avanzaba para establecer nuevos hechos, no cesaba de buscar argumentos contra sí misma y retrocedía para fortalecer puntos que todavía parecían débiles" ¹¹. Fueron estas cualidades mentales las que hicieron de Pasteur un gran científico experimental.

⁹ Citado por VALLERY RADOT, I, p. 119

¹⁰ Había diferencia en una circunstancia *pertinente*. Debe concederse que esto fue una suposición. Las redomas diferían en su posición espacial, en el momento en que se llenaron, etcétera. Pero se juzgó que estos factores eran impertinentes. Más adelante examinaremos las condiciones bajo las cuales se justifica que hagamos estos juicios de impertinencia.

¹¹ *Op cit*, I, p. 129

§ 3. *Los principios especiales de la determinación causal*

El ejemplo estudiado en el párrafo anterior era un ejemplo de un conjunto particular de experimentos emprendidos a fin de establecer una conclusión perfectamente definida. El propio Pasteur resumió la conclusión de su primer conjunto de experimentos de la siguiente manera: "Frente a tales resultados considero matemáticamente demostrado que todos los organismos que aparecen en soluciones albuminosas azucaradas, hervidas y luego expuestas al aire ordinario, derivan su origen de las partículas sólidas que están suspendidas en la atmósfera"¹² De tal suerte, alegaba que no sólo en *esta* ocasión particular se había mostrado que cierto factor era necesario y suficiente para la producción del resultado, sino que también en todas las demás ocasiones *de tipo similar* se encontraría que tal factor es necesario y suficiente para la producción de un resultado similar. Es decir, que él generalizó la conclusión obtenida de su investigación particular. Al hacer tal cosa supuso, primero, que existen conexiones causales regulares, segundo, que estas conexiones causales pueden determinarse por medio de investigaciones llevadas a cabo de acuerdo con principios generales que regulan la búsqueda de las causas. No nos interesa por el momento examinar hasta qué punto estos supuestos son susceptibles de justificación. En este capítulo adoptamos el punto de vista de la indagación científica que indudablemente utiliza tales supuestos. De consiguiente, damos por sentada la validez de la concepción de causa que se ha desarrollado a partir de la noción del sentido común, examinada en el capítulo xv. De tal suerte suponemos que, en una situación compleja dada que se puede considerar relativamente desconectada de otras situaciones, podemos, para los fines de una investigación dada, distinguir entre *condición* y *causa*, que podemos analizar la situación dada en un conjunto de factores conjuntamente suficientes para la producción del acontecimiento que se encuentra bajo investigación, es decir, *el efecto*. El problema, entonces, consiste en determinar si uno o más de estos factores —y, en tal caso, cuál o cuáles— no sólo es suficiente sino también necesario para la producción del efecto.¹³ Siempre que ocurre un resultado dado, la situación total contiene lo que es suficiente para producirlo; pero, como hemos visto, siempre contiene también más de lo suficiente. El experimento es un medio práctico que nos permite determinar qué puede excluirse sin alterar el resultado. De aquí que podemos llegar a formular proposiciones científicas de la forma *Siempre que Φ , entonces Ψ*

El proceso lógico de eliminación depende de los dos principios que

¹² *Memoir*, p. 226

¹³ Debe recordarse que, al decir que X es *necesario* para la producción de A, significamos que si X no hubiese ocurrido, A no hubiese ocurrido. En este caso, X es *causalmente necesario* para la producción de A.

se desprenden de la naturaleza de una conexión causal que enunciamos en la página 367. La investigación de Pasteur ejemplifica estos principios; su conclusión fue extraída de acuerdo con ellos. De estos principios podemos derivar cuatro principios especiales que determinan la selección de material, o casos, a fin de obtener una conclusión inductiva. Estos principios son, esencialmente, principios que determinan la investigación *experimental*, y como tales los hemos de enunciar, aunque indudablemente tienen una aplicación más amplia. Estos principios los emplea el investigador cuya regla fundamental es: *Hágase variar sólo un factor a la vez*. Resulta claro que tal procedimiento es posible únicamente sobre la base de conocimientos considerables acerca de los datos pertinentes. El procedimiento *metódico* presupone conocimientos derivados de la experiencia pre-científica, así como los resultados producidos por otras investigaciones en el mismo campo de indagación.

Al enunciar los cuatro principios especiales, encontraremos que es conveniente utilizar símbolos literales. De consiguiente, continuaremos simbolizando por medio de X el factor cuya causa está siendo investigada, y usaremos las primeras letras del alfabeto para simbolizar factores en la situación compleja o conjunto de circunstancias que acompaña (ya sea previa o simultáneamente) a la aparición de X.

PRINCIPIOS ESPECIALES QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DE MATERIAL

I Si en cierto número de casos de un conjunto de circunstancias siempre acompañadas por X, un factor A se hace variar mientras el resto permanece constante, entonces X no está causalmente conectado con A.

II Si en cierto número de casos de un conjunto de circunstancias que está constantemente unido con X, el factor A siempre está presente, y si los demás factores B C D E de ese conjunto de circunstancias están presentes en diversas combinaciones con otros factores, y en ningún caso estos conjuntos de circunstancias están unidos a X, entonces A probablemente está conectado causalmente con X.

III Si en una situación compleja acontece X, y si la eliminación de un solo factor A de esa situación está acompañada por la eliminación de X, entonces A está causalmente conectado con X, y, a la inversa, si en una situación compleja no acontece X, y si sólo A es introducido en esa situación y X acontece, entonces A está causalmente conectado con X.

IV Si en una situación compleja que contiene tanto a A como a X, el factor X varía de alguna manera siempre que A varíe de alguna manera, entonces A está causalmente conectado con X.

Es claro que el primer principio especial dirige la investigación de acuerdo con el principio fundamental de que nada que esté ausente cuando el efecto ocurre puede ser la causa de ese efecto. Un conocido experimento de Newton constituye un buen ejemplo. Newton quería determinar si todas las sustancias, no empujadas por su constitución química, son igualmente afectadas por la gravitación. Tenía, pues, que observar una situación en la que se hiciera variar un solo factor en cada caso. El movimiento de un péndulo está condicionado por la resistencia del aire o de otro medio en el que aquél oscile. Newton, por lo tanto, hizo péndulos, cuyas oscilaciones habían de ser comparadas, "de cajas de madera iguales, colgantes de hilos iguales y llenas de sustancias diferentes, de modo que los pesos totales fuesen iguales y los centros de oscilación se encontrasen a la misma distancia de los puntos de suspensión. Por lo tanto, la resistencia del aire vino a ser aproximadamente una cuestión indiferente, pues, siendo iguales el tamaño y la forma externos de los péndulos, la fuerza absoluta de la resistencia sería la misma mientras el péndulo vibrara con igual velocidad, y, siendo los pesos iguales, la resistencia disminuiría la velocidad igualmente. Por lo tanto, si se observaba cualquier desigualdad en las vibraciones de los dos péndulos, ésta debía derivarse de la única circunstancia que era diferente, a saber, la naturaleza química de la materia dentro de las cajas. No observándose ninguna desigualdad, la naturaleza química de las sustancias no puede tener ninguna influencia apreciable sobre la fuerza de gravitación" ¹⁴ Es claro que en este experimento se hizo variar sólo un factor; la variación de este factor no fue acompañada por ninguna diferencia en el resultado, por lo tanto el factor dado no estaba causalmente conectado con el resultado. La decisión de Newton de hacer variar este factor se debió a la expectación natural de que este factor pudiera estar causalmente conectado con el efecto dado. Al mostrar que no lo estaba, Newton razonaba de acuerdo con el primer principio.

Es importante observar que este principio requiere concordancia en todos los factores pertinentes excepto uno, y tiene que ver así con casos en los que hay una *sola diferencia* en todos los casos de la ocurrencia causal y *ninguna diferencia* en el efecto. Es fácil confundir este principio con el principio que Mill llama de *concordancia*, el cual examinaremos en el siguiente párrafo. Es fácil también incurrir en el error de suponer que, puesto que lo que no está presente cuando ocurre un efecto no puede ser la causa, entonces lo que está presente debe ser la causa. Pero un factor puede estar presente y sin embargo no ser la causa. El no haber reconocido este hecho ha sido la causa de generalizaciones apresuradas que están tan mal fundadas como muchas de las generalizaciones derivadas de la simple enumeración. Así, frecuentemente se ha supuesto el siguiente pseudo-principio: Si dos acontecimientos se acompañan constantemente entre sí, es probable que estén causalmente relacionados. Puede admitirse que

¹⁴ JEVONS, *Principles of science*, p. 443

la conjunción constante puede *sugerir* una conexión causal, pero no es posible extraer con seguridad ninguna conclusión hasta que se encuentren o ideen casos que proporcionen variación en uno de los factores. La falacia que tal generalización apresurada ejemplifica es conocida como la falacia de *post hoc ergo propter hoc*. Las supersticiones populares ilustran esta falacia, por ejemplo, que pasar por debajo de una escalera trae mala suerte, que mirar a la luna nueva a través de un cristal trae desgracias, que si se sientan trece personas a comer, una de ellas morirá pronto, que viajar los viernes trae mala suerte, etcétera. Es improbable que *nada* que no sea la conjunción constante de los dos sucesos entre en el razonamiento. En el caso de las dos últimas supersticiones, es probable que el origen se remonte a la Última Cena. Pero tales supersticiones sobreviven principalmente debido a que se pone confianza en este pseudo-principio. Los casos en que las dos ocurrencias están unidas son advertidos, los casos en que la conjunción no se produce, son ignorados. Todo el mundo sabe cuán difícil es tomar en cuenta los casos contrarios a nuestros prejuicios, somos proclives a dejar de *observar* los casos negativos. Darwin, que estaba consciente de este peligro, se formó el hábito de prestar atención a los casos desfavorables a sus hipótesis. Dice: "Yo también había seguido, durante muchos años, una regla dorada, a saber, que cada vez que me encontraba un nuevo hecho publicado, una nueva observación o pensamiento que se oponía a mis resultados generales, hacía un memorandum de ello sin falta e inmediatamente; pues la experiencia me había mostrado que tales hechos y pensamientos escapaban de mi memoria mucho más fácilmente que los que eran favorables" ¹⁵

El segundo principio nos lleva a seleccionar conjuntos de casos de tal modo relacionados que un grupo contiene en cada conjunto cierto hecho A, y el segundo grupo, que es *in pari materia*, es tal que ningún caso contiene el factor A, pero todo caso contiene algunos de los otros factores contenidos en el primer grupo. El primer grupo constituye el conjunto de *casos positivos*, el segundo contiene el conjunto de *casos negativos*. Si los casos positivos están acompañados por X y los casos negativos no lo están, entonces, de acuerdo con el principio, podemos extraer la conclusión de que es probable que A esté causalmente conectado con X. Este principio podría ser ejemplificado en una investigación concebida para determinar si la enseñanza del latín por medio del método directo produce los mejores resultados. Para los fines de tal investigación, debe suponerse que existe algún medio de determinar qué se entiende por "los mejores resultados" y alguna manera de reconocer el logro de tales resultados. Representemos este resultado complejo por medio de E. Puede observarse que, siempre que se usa el método directo para enseñar el latín, se logra E. Las diversas escuelas en que se utilizó este método directo diferían *inter se* en muchos respectos. Algunas de estas diferencias podrían

¹⁵ *Life and letters*, ed por F Darwin, 1887, volumen 1, p. 87

reconocerse fácilmente como impertinentes, pero probablemente habría una variación considerable en otros factores que se sabe son pertinentes, como por ejemplo la habilidad de los maestros, la cantidad de horas dedicadas cada semana a las lecciones de latín, el *status* social de los alumnos, la cantidad de tareas hechas en la casa, la variación en el *curriculum*, la ventilación de las aulas, etcétera. Si pudiésemos obtener un conjunto de casos negativos en que cada uno de estos factores estuviese presente en alguna o algunas combinaciones, de la misma manera que en un caso cuando menos del conjunto positivo, entonces los dos conjuntos podrían compararse con resultados fructíferos. Si los casos positivos logran E y los casos negativos no, entonces podríamos concluir, de acuerdo con el segundo principio, que es probable que E fuese causalmente dependiente del método directo, en cuanto se refiere a la investigación dada. Al razonar de acuerdo con este principio, no podríamos confiar mucho en haber descubierto algo más que una relación muchos-uno. De tal suerte, resulta claro que, aunque el método directo para enseñar latín pueda producir resultados satisfactorios, estos resultados bien podrían obtenerse también por medio de alguna otra combinación de factores. Hay cuando menos una apariencia de la pluralidad de causas. Ello no obstante, es en relación con tales problemas que empleamos constantemente el concepto de causa. Las mismas consideraciones son aplicables en relación con los problemas de la psicología industrial. Los datos del problema son tales que el razonamiento debe estar de acuerdo con este segundo principio. Puede que valga la pena investigar adicionalmente las conclusiones alcanzadas, aunque éstas no puedan probarse experimentalmente.

El tercer principio determina la selección de casos capaces de sugerir conclusiones decisivas. Podemos llamarlo *el principio de diferencia*. Dado que una situación compleja sea estática y que cuando A se introduce en ella ocurre X, entonces A es la causa de X. Siempre y cuando que A sea la *sola* diferencia entre los dos casos, el principio justifica nuestra conclusión de que tenemos un ejemplo indudable de una conexión causal. De ello no se desprende, sin embargo, que la relación entre A y X es uno-uno. Este será el caso si, y sólo si, podemos mostrar que no acontece la pluralidad de causas. El principio de diferencia se desprende directamente de la definición de causa dada por Galileo: "Sólo ha de llamarse causa, en el sentido correcto, aquello a cuya presencia sigue siempre el efecto y con cuya eliminación desaparece el efecto"¹⁶. Este principio está ejemplificado constantemente en nuestros razonamientos cotidianos. En nuestro examen de la noción de causa del sentido común dimos muchos ejemplos de su uso. Frotamos un cerillo en una superficie preparada y se produce la llama. Aquí, *la superficie de la caja de cerillos y el cerillo y el aire circundante* constituyen la situación compleja. En ésta se introduce el factor *frotar el cerillo contra la superficie*. Este fac-

¹⁶ *Opere*, iv, p. 216