

investigador científico han sido destruídas en el silencio y en el sigilo por su crítica severa y adverso examen; que en los casos más felices no se han realizado ni la décima parte de sus sugerencias, esperanzas, deseos y conclusiones preliminares." ¹

Se recomienda mucho al estudiante la lectura del *Discurso sobre el estudio de la filosofía natural* de Sir J. Hershell [*Cabinet Cyclopedia* de Lardner], y especialmente la de la parte II, capítulos 4 á 7, concernientes á la observación, al experimento y á los procedimientos inductivos en general.

LECCION XXVIII.

MÉTODOS DE INDUCCIÓN.

Tenemos que considerar ahora los métodos establecidos con el objeto de guiarnos en la investigación de las verdades generales ó leyes de la naturaleza, que rigen á los hechos obtenidos por la observación y la experimentación. La inducción consiste en inferir de lo particular á lo general, ó en descubrir una verdad general por la observación de casos particulares. Mas en la ciencia física las verdades que se trata de descubrir se refieren generalmente á la conexión entre la causa y el efecto, y usualmente se llaman **leyes de causalación** ó **leyes naturales**. La **causa** de un acontecimiento significa las circunstancias que deben de haber precedido para que el acontecimiento haya sucedido. Ni es en general posible decir que un acontecimiento sólo tiene una causa. Hay comunmente muchas cosas, condiciones ó circunstancias diferentes necesarias para que el efecto se produzca, y todas ellas deben considerarse como causas ó como partes necesarias de la causa. Así, la causa de la ruidosa explosión de una

¹ *Cultura moderna*; edición de Youmans; pág. 222. Macmillán & C^o

arma de fuego, no consiste simplemente en haber tirado del gatillo, que es sólo la **ocasión** ó última causa aparente de la explosión; también figuran entre las circunstancias necesarias para la producción del fuerte estallido del arma de fuego, las cualidades de la pólvora, la forma apropiada del cañón del arma, la existencia de alguna carga resistente, la disposición conveniente de la ceba fulminante y de la pólvora; si alguna de ellas hubiera estado ausente, no hubiera ocurrido esa fuerte explosión.

Otro caso: la causa de la ebullición del agua no es simplemente la aplicación del calor hasta que se llegue á cierto grado de temperatura, sino también la posibilidad de que se escape el vapor cuando ha adquirido cierta tensión. De un modo análogo, la congelación del agua no depende solamente de la substracción de calor hasta que se llegue á una temperatura inferior á 0° centígrados. El trabajo de la inducción se reduce, pues, á descubrir las circunstancias que uniformemente producen determinado efecto, y tan luego como estas circunstancias se conocen, se tiene una ley ó uniformidad de la naturaleza de mayor ó menor generalidad.

En esta y en las siguientes lecciones tendré que emplear á menudo además de los términos causa y efecto, las palabras antecedente y consiguiente, y bueno será que el lector tome nota de sus significados. Un **antecedente** significa alguna cosa, condición ó circunstancia que existe antes, ó, como puede también suceder, al mismo tiempo que un acontecimiento ó fenómeno. Un **consiguiente** significa alguna cosa ó circunstancia, acontecimiento ó fenómeno que es diferente de cualquiera de los antecedentes y sigue á su conjunción ó sea al hecho de reunirlos. No se sigue que todo antecedente es una causa, porque el efecto pudo haber acontecido sin que el antecedente interviniera. Así, la luz solar puede ser un antecedente en el incendio de una casa, mas no la causa, porque la casa se hubiera quemado de noche de la misma manera. Sin embargo, un *antecedente necesario ó indispensable* es

idéntico con una causa, es decir, un antecedente tal que sin él no hubiera sucedido el efecto.

La palabra **fenómeno** será también usada con frecuencia. Significa simplemente *una cosa cualquiera que aparece*, y es, de consiguiente, por los sentidos observada; la palabra se deriva de la voz griega *φαινόμενον*, *lo que aparece*; y el significado etimológico corresponde al lógico.

El primer método de inducción es el que Mr. Mill llama propiamente **Método de concordancia**. Depende de la regla: "Si dos ó más casos del fenómeno objeto de la investigación tienen solamente una circunstancia común, la circunstancia en la que únicamente concuerden los casos considerados, es la causa (ó efecto) del fenómeno dado." Creo que el significado de este **primer canon** de la investigación inductiva, se puede expresar con más concisión diciendo que *el antecedente único de un fenómeno es probablemente la causa*.

Para aplicar este método debemos reunir tantos casos como sea posible del fenómeno objeto de la investigación, y comparar simultáneamente los antecedentes. Entre otros debe encontrarse la causa; mas si observamos que ciertos antecedentes están presentes ó ausentes sin que aparezca que influyen sobre el resultado, inferimos que no pueden ser antecedentes necesarios. De consiguiente, consideramos como causa al antecedente único ó grupo de antecedentes que está siempre presente cuando se origina el efecto. Por ejemplo, se ven brillantes colores espectrales en las burbujas, en las películas de alquitrán que flotan en el agua, en las láminas delgadas de mica, como también en las hendeduras que se practican en el vidrio, y entre dos pedazos de vidrio que se comprimen. Examinando todos estos casos parece que sólo concuerdan en la presencia de una capa ó lámina delgada de una substancia en un estado cualquiera: sólido, líquido ó gaseoso. De consiguiente, inferimos que esos colores son originados sencillamente por la delgadez de las láminas, y en la teoría de la interferencia de la luz se prueba que esa conclusión es verda-

dera. Sir David Brewster probó elegantemente, de un modo análogo, que los colores que se observan en la madreperla no son causados por la naturaleza de la substancia sino por la forma de la superficie. Tomó en cera impresiones de la madreperla y observó, que aun cuando la substancia era completamente distinta, los colores eran exactamente los mismos. Después encontró que si se practicaban en la superficie de una lámina metálica incisiones muy finas y muy cercanas entre sí, se observan en esa superficie colores iridescentes como en la madreperla. Así, pues, es evidente que la forma de la superficie, que es el antecedente único indispensable para la producción de los colores, debe ser su causa.

El método de concordancia está sujeto á una seria dificultad, que Mr. Mill designa con el nombre de **pluralidad de causas**. Consiste en el hecho de que el mismo efecto es atribuible en casos diferentes á diferentes causas. Así, si inquirimos con exactitud la causa del calor, encontramos que se produce por la fricción, por la combustión, por la electricidad, por la presión, etc.; de modo que si acontece que esté presente en todos los casos observados una sola y misma cosa, no se sigue que sea la causa. El segundo método de inducción que pasamos á considerar, está exento de esta dificultad; se conoce con el nombre de **método de diferencia**, y se formula en el **segundo canon** de Mr. Mill de este modo:

"Si un caso en el que se presenta el fenómeno objeto de la investigación y otro en el que no se presenta este fenómeno, tienen todas sus circunstancias comunes, con excepción de una sola, la que se presenta únicamente en el primero; la circunstancia por la que ambos casos difieren solamente, es el efecto, la causa, ó una parte indispensable de la causa, del fenómeno."

En otros términos, puede decirse que el antecedente que está invariablemente presente cuando se origina el fenómeno, y que está invariablemente ausente cuando el fenómeno

esté ausente, es, si permanecen las mismas las demás circunstancias, la causa del fenómeno en esas circunstancias.

Así, podemos claramente probar que la fricción es una de las causas del calor, porque cuando se frotan dos palillos uno contra otro se calientan, y cuando no se frotan no se calientan. Sir Humphry Davy probó que hasta dos fragmentos de hielo que se frotan entre sí en el vacío, producen calor, puesto que se funden; y así demostró completamente que la fricción es una fuente y una causa de calor. Probamos que el aire es la causa de que el sonido se comunique á nuestro aparato auditivo, haciendo sonar una campana en el recipiente de una máquina neumática, como lo hizo primeramente Hawhsbee en 1705, y observando en seguida que cuando el recipiente está lleno de aire, se oye la campana; y que la campana no se oye cuando el recipiente no contiene aire ó contiene muy poco. Aprendemos que el sodio ó cualquiera de sus compuestos produce un espectro caracterizado por una doble raya amarilla y brillante, observando que en el espectro de la luz no se presenta esta raya cuando no está presente el sodio, pero que si se arroja en la llama ó en cualquiera otra fuente de luz la cantidad más insignificante de sodio, instantáneamente aparece la raya amarilla y brillante. El oxígeno es la causa de la respiración y de la vida, porque si se introduce un animal en un recipiente lleno de aire atmosférico, privado de oxígeno, pronto se asfixia el animal.

Este es esencialmente el gran **método de experimentación**, y su utilidad depende principalmente de esta precaución: *no variar á la vez sino una sola circunstancia*; dicho se está que *las demás se han de conservar invariables*. Esto se expresa en una de las reglas para dirigir experimentos, que Thomson y Tait dan en su gran tratado de *Filosofía natural*, vol. I, página 307. La regla en cuestión es la siguiente:

“En todos los casos en que se tiene que estudiar un agente particular ó causa, los experimentos se deben disponer de modo que conduzcan, si esto fuera posible, á resultados que

dependan solamente de ese agente; y si esto no puede lograrse, los experimentos se deben disponer de modo que se aumenten los efectos debidos á la causa que se estudia, hasta que sobrepujen de tal manera á los concomitantes inevitables, que estos últimos se puedan considerar como perturbando solamente, no como modificando los efectos del agente principal.”

Un experimento imperfecto y nada satisfactorio sería tomar aire cuyo oxígeno se hubiera convertido en ácido carbónico por la combustión del carbón, y se arguyera que porque un animal se muere en esa atmósfera, el oxígeno es la causa de la respiración. En lugar de haber quitado simplemente el oxígeno, se ha introducido una substancia nueva, el ácido carbónico, el que por sus propiedades deletéreas es muy capaz de matar á un animal. El animal se hubiera en realidad sofocado, aun cuando todavía quedase una cantidad considerable de oxígeno; así es que la presencia del ácido carbónico es una circunstancia perturbadora que vicia y obscurece el experimento.

Es posible probar la existencia y aun medir la magnitud de la gravedad, suspendiendo delicadamente una bolita como del tamaño de una canica y aproximando en seguida rápidamente una bola muy pesada de plomo como de una tonelada ó más, hasta que esté muy cerca de la bolita. Esta será atraída y se pondrá en movimiento; mas el experimento no será de ningún valor, si al ejecutarlo no se toman grandes precauciones. Es evidente que el movimiento repentino de la bola grande y pesada, perturbará el aire, imprimirá al cuarto una sacudida, originará corrientes en el aire al enfriarse ó calentarse, y hasta ocasionará repulsiones y atracciones eléctricas; y probablemente todas estas circunstancias producirán movimientos perturbadores que excederán con mucho al producido por la fuerza de la gravitación.

En las investigaciones que hizo el Dr. Wells á fin de descubrir la causa del rocío, se encuentran, como lo ha indicado

Sir J. Hershel, bonitos ejemplos de experimentos ejecutados con arreglo á las prescripciones del Método de diferencia. Si en una noche clara y serena se extiende una sábana ú otra cubierta á uno ó dos pies del suelo, con el objeto de que el suelo que está debajo no esté expuesto á la acción del cielo despejado, no se formará rocío en esta región y sí en el césped que esté alrededor. Como la temperatura húmeda y demás circunstancias del aire, son exactamente las mismas, el cielo despejado debe ser un antecedente indispensable del rocío. El mismo experimento lo realiza la naturaleza para nosotros; pues si hacemos observaciones sobre el rocío durante dos noches que sólo difieran en la ausencia de nubes en una de ellas y en su presencia en la otra, encontraremos que es un requisito para la formación del rocío que el cielo esté despejado.

Sucede á menudo que no se puede aplicar completamente el método de diferencia, porque no es posible hacer variar á un tiempo una sola circunstancia. Así, generalmente hablando, no se pueden estudiar las cualidades de la misma substancia en los estados sólido y líquido, sin ningún otro cambio de circunstancias, porque es necesario modificar la temperatura de la substancia para que se liquidifique ó se solidifique. La temperatura puede así ser la causa de lo que se atribuya á los estados sólido y líquido. En estas circunstancias se tiene que recurrir al método que Mr. Mill llama **método unido de concordancia y diferencia**, que consiste en una doble aplicación del método de concordancia: primeramente á los casos en los que el fenómeno se produce, y, en segundo lugar, á los casos enteramente diferentes, en los que el fenómeno no se produce. Sin embargo, es necesario entender claramente, que los casos negativos tienen que diferir de los positivos en varias circunstancias y no en una sola; pues entonces se podría aplicar el método simple de diferencia. Por ejemplo, el espato de Islandia tiene la curiosa propiedad de que los objetos que van á través de él parecen dobles. Este

fenómeno, que se llama de la doble refracción, pertenece también á otros cristales; y de un golpe probaríamos que se debe á la estructura cristalina, si pudiéramos obtener substancias transparentes cristalizadas unas y las otras no cristalizadas, pero sin que se produzca ninguna otra alteración. Sin embargo, tenemos una prueba bastante satisfactoria, observando que las substancias homogéneas no cristalizadas concuerdan en el hecho de no poseer la doble refracción, y que por otra parte, las substancias cristalinas, con algunas excepciones fácilmente explicables, concuerdan en poseer la propiedad en cuestión. El principio del método unido se puede establecer en la siguiente regla, que es el **tercer canon** de Mr. Mill:

“Si dos ó más casos en los que el fenómeno se presenta tienen una sola circunstancia común, mientras que dos ó más casos en los que no se presenta sólo tienen en común la ausencia de esa circunstancia, la circunstancia por la que difieren (siempre ó invariablemente) las dos series de casos, es el efecto, la causa ó parte indispensable de la causa del fenómeno.”

Las palabras entre paréntesis las he insertado, pues sin ellas creo que el canon expresa exactamente lo contrario de lo que quiso expresar Mr. Mill.

Se puede facilitar la cabal inteligencia de estos métodos inductivos, dando de ellos la siguiente representación simbólica en la forma adoptada por Mr. Mill. Representemos por *A, B, C, D, E*, etc., los antecedentes, que pueden de varias maneras combinarse, y por *a, b, c, d, e*, etc., los efectos que de ellos se siguen. Si podemos, pues, reunir las siguientes series de antecedentes y de efectos:

Antecedentes.

*ABC**ADE**AFG*

Consiguientes.

*abc**ade**afg*

Antecedentes.	Consiguientes.
\overline{AHK}	ahk
.....
.....

podemos aplicar el **método de concordancia**, y se verá, sin grande esfuerzo, que el único antecedente invariable A es la causa de a .

El **método de diferencia** está suficientemente representado de este modo:

Antecedentes.	Consiguientes.
\overline{ABC}	abc
BC	bc

En este caso, mientras que B y C permanecen sin alteración ninguna, encontramos que la presencia ó la ausencia de A ocasiona la presencia ó la ausencia de a ; de consiguiente, A es la causa de a , cuando B y C están presentes. Mas debe advertir el lector que esto no prueba que A sea la causa de a en toda clase de circunstancias.

El **método unido de concordancia y diferencia** se representa análogamente de este modo:

Antecedentes.	Consiguientes.
\overline{ABC}	abc
\overline{ADE}	ade
\overline{AFG}	afg
\overline{AHK}	ahk
.....
PQ	pq
RS	rs
TV	tv
XY	xy
.....

En este caso, la presencia de A va seguida de a , como en el simple método de concordancia; y la ausencia de A , en cir-

cunstancias diferentes de las primitivas, va seguida de la ausencia de a . De consiguiente, es muy probable que A sea la causa de a . Pero se ve claramente que A no es la sola circunstancia por la que las dos series de casos difieren, de otra manera se podría aplicar el método de diferencia á una combinación binaria cualquiera de los antecedentes y consiguientes considerados. Mas la presencia de A es una circunstancia por la cual una de las series difiere invariable, ó uniformemente ó siempre de la otra serie. Este método sustituye, pues, al de diferencia en aquellos casos en los que este último método no puede ser aplicado con propiedad.

Véanse: *El Discurso sobre el estudio de la Filosofía natural* de J. Herschel, parte II, cap. 6, p. 144.

El sistema de lógica de Mill, libro III, caps. 8 y 9.

LECCIÓN XXIX.

MÉTODO DE INDUCCIÓN CUANTITATIVA.

Los métodos de inducción expuestos en la lección precedente, se refieren simplemente al hecho de que el acontecimiento cuya causa se investiga, se realice ó no se realice. Así, aprendimos que la fricción era una causa de calor, observando que dos cuerpos sólidos, aun cuando sean dos pedazos de hielo, frotados entre sí producían calor, pero que cuando no se frotaban no había producción de calor. Sin embargo, esta es una especie de experimentación muy elemental; y en el curso de una investigación siempre es necesario **medir la cantidad exacta de un efecto**, cuando sea susceptible de aumentar ó disminuir, y enlazar esa cantidad con la de la causa. En este género de investigaciones seguimos un procedimiento natural representado por la siguiente serie de preguntas:

1.º ¿El antecedente produce invariablemente un efecto?