

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?

- 2ª ¿En qué dirección está ese efecto?  
 3ª ¿Cuál es la cantidad del efecto á proporción de la causa?  
 4ª ¿Está en esa proporción uniformemente?  
 5ª Si no lo está ¿conforme á qué ley varía?

Tómese, por ejemplo, como efecto la alteración en las dimensiones de los cuerpos producida por el calor. La primera cuestión es si se altera la longitud de un sólido, una barra de fierro, por ejemplo, calentándola; el método simple de diferencia nos autoriza para concluir, que esa longitud se altera por la acción del calor. Una investigación ulterior manifiesta que casi todas las substancias se dilatan por la acción del calor; en otros términos: aumentan en dimensiones por el calor; pero que unas cuantas, como la goma elástica, el agua á temperaturas inferiores á 4.08° C., se contraen ó disminuyen en dimensiones. En seguida establecemos la proporción del cambio para cada grado de temperatura, que se llama coeficiente de dilatación. Así, el fierro se dilata entre 0° y 100° C. 0.0000122 de su propia longitud.

Sin embargo, investigaciones aún más minuciosas ponen de manifiesto que la dilatación no es uniformemente proporcional á la temperatura; la mayor parte de los metales se dilatan con tanta mayor rapidez cuanto mayor es la elevación de temperatura; mas no es necesario considerar en esta obra los detalles de esta materia.

Además, en estas lecciones se han mencionado con frecuencia las estrellas fijas, mas el lector sabe probablemente que no son fijas. Considerando determinada estrella, el astrónomo tiene que contestar en realidad á las cinco preguntas formuladas anteriormente.

- 1ª ¿Se mueve la estrella?  
 2ª ¿En qué dirección se mueve?  
 3ª ¿Cuánto se mueve en un año ó en un siglo?  
 4ª ¿Se mueve uniformemente?  
 5ª Si no, ¿conforme á qué ley varía el movimiento en dirección y en rapidez?

Cada ciencia y cada cuestión científica versan primero sobre hechos solamente, después se introduce en ellas la noción de cantidad, y por grados sucesivos va aumentando la precisión cuantitativa. Hace treinta años se conocían como hechos simplemente la mayor parte de los fenómenos de la electricidad y del electro-magnetismo; ahora la mayor parte se puede calcular y medir exactamente.

Tan pronto como los fenómenos pueden ser de ese modo medidos, podemos aplicar un método de inducción ulterior de grande importancia. Es en verdad el **método de diferencia** aplicado en circunstancias más favorables; cada grado y cada cantidad del fenómeno ministra un nuevo experimento y una nueva prueba de la conexión causal. Se puede llamar **método de las variaciones concomitantes**, y Mr. Mill lo establece de la siguiente manera, en lo que intitula el **quinto canon** de la inducción:

“Todo fenómeno que varía de una manera cualquiera siempre que otro fenómeno varía de cierta manera, es, ó una causa ó un efecto de este fenómeno, ó está ligado con él por algún hecho de causación.”

El mismo método ha sido expuesto por Sir Jhon Hershel de este modo: “En los casos que admiten aumento y disminución, el aumento ó la disminución del efecto va acompañado ó precedido por el aumento ó la disminución de la intensidad de la causa,” á lo que agrega “El efecto se anula cuando la causa se anula.”

Los ejemplos destinados á dilucidar este método son numerosísimos. Así, Mr. Joule, oriundo de Manchester, probó perentoriamente que la fricción es una causa de calor, gastando cantidades exactas de fuerza para frotar un cuerpo contra otro, y mostrando que el calor producido era exactamente mayor ó menor, según fuere la fuerza mayor ó menor, y que esas variaciones eran proporcionales. Podemos aplicar este método á muchos de los casos tratados por el método simple de diferencia; así, en lugar de hacer sonar una campana en

un vacío completo, la podemos hacer vibrar cuando haya una pequeña cantidad de aire en el recipiente de la máquina neumática, y escucharemos entonces un sonido muy débil, que aumenta ó disminuye, según sea que aumente ó disminuya la densidad del aire. Este experimento prueba concluyentemente que el aire es la causa de la transmisión del sonido.

Es este método el que á menudo permite descubrir el lazo material que entre dos cuerpos existe. Por mucho tiempo estuvo en tela de juicio si las llamas rojas que se ven en los eclipses totales de sol pertenecen al sol ó á la luna; mas durante el último eclipse de sol, se observó que las llamas se *movían con el sol*, y que en los instantes sucesivos del eclipse, la luna gradualmente las cubría y las descubría. En consecuencia, desde entonces nadie dudó que esas llamas pertenecían al sol.

Además, siempre que los fenómenos experimentan **cam- bios periódicos**, aumentando y disminuyendo alternativamente, debemos buscar otro fenómeno que experimente cambios en los mismos períodos exactamente. Así es como se prueba que las mareas se deben á la atracción de la luna y del sol, porque los períodos de las mareas alta y baja, de aguas vivas y de aguas muertas, se suceden entre sí en intervalos que corresponden á las revoluciones *aparentes* de esos cuerpos alrededor de la tierra. El hecho de que la luna gira alrededor de su propio eje en un período igual al de su revolución alrededor de la tierra, lo que hace que desde remotas y desconocidas edades la luna vuelva constantemente hacia la tierra el mismo hemisferio, es un caso de aplicación del método de variaciones concomitantes, y de los más perfectos, que prueba concluyentemente que la atracción terrestre gobierna los movimientos de la luna alrededor de su propio eje.

Sin embargo, el caso más extraordinario de variaciones consiste en la conexión, que de poco tiempo á esta parte se ha probado que existe, entre la aurora boreal, las tempestades magnéticas y las manchas solares. Se sabe solamente des-

de hace unos 30 ó 40 años que la aguja de declinación está á intervalos sujeta á movimientos muy ligeros pero curiosos; y que al propio tiempo hay usualmente corrientes de electricidad producidas naturalmente en los hilos telegráficos, tales que se oponen á la transmisión de los despachos. Estas perturbaciones se conocen con el nombre de tempestades magnéticas y se observa que coexisten á menudo con la producción de las auroras polares, tanto boreales como australes. Las observaciones practicadas durante muchos años, han mostrado que estas tempestades alcanzan su mayor intensidad al fin de cada once años, el máximo tendrá lugar, poco más ó menos, en el presente año (1870), la intensidad disminuirá en seguida hasta que haya transcurrido el próximo período de once años. Atentas observaciones de sol practicadas durante 30 ó 40 años han mostrado, que el tamaño y el número de las manchas oscuras, que son tempestades gigantes cas que tienen lugar en la superficie solar, aumentan y disminuyen en los mismos períodos de tiempo exactamente que las tempestades magnéticas en la superficie terrestre. Ninguno podrá, pues, dudar que estos extraños fenómenos estén íntimamente ligados, aun cuando se desconozca enteramente el modo de conexión. Se cree ahora que las causas reales de esas perturbaciones son los planetas Júpiter, Saturno, Venus y Marte; pues Balfour Stewart y Warren de la Rue han probado que existe una exacta correspondencia entre los movimientos de estos planetas y los períodos de las manchas solares. Este es un caso extenso y notable de variaciones concomitantes.

Tenemos que considerar ahora un método de inducción que debe emplearse cuando varias causas obran á un tiempo y los efectos se mezclan entre sí íntimamente. Si en un experimento obran á la par la fricción, la combustión, la compresión y la acción eléctrica, cada una de estas causas producirá una cantidad de calor que se agregará á las cantidades producidas por las causas restantes; y es punto menos que

imposible decir qué fracción de la cantidad total de calor producida se debe á cada una de esas causas aisladamente. Este caso se puede llamar **mezcla homogénea de efectos**; el nombre indica que el efecto unido es de la misma especie que los efectos separados. Mr. Mill lo distingue del de la **mezcla heterogénea de efectos**, ó como él la llama *heteropática*, en la que el efecto unido y los efectos separados son totalmente de especies diferentes. Así, si un arco se encorva demasiado, en lugar de encorvarse más, se rompe; si el hielo se calienta, pronto cesa la elevación de temperatura y entonces se funde; si se calienta agua durante algún tiempo, la temperatura se eleva **homogéneamente**, mas repentinamente cesa la elevación, y se origina entonces un efecto totalmente diferente: la producción de vapor y quizá una explosión.

Ahora bien, cuando es heterogéneo el efecto unido, el método de diferencia es suficiente para determinar la causa de ese acontecimiento. Si un arco ó un resorte se romperán con un peso dado, si en determinadas condiciones de temperatura y de presión hervirá el agua, son cuestiones que se pueden decidir por la experiencia fácilmente. Mas en la mezcla de efectos homogéneos el problema es mucho más complicado. En este caso son varias las causas que intervienen, cada una de ellas produce una parte del efecto, y necesitamos saber qué parte se debe atribuir á cada causa. En este caso se debe emplear un método nuevo de inducción, llamado por Mr. Mill **método de residuos**, y que establece de este modo en su **canon cuarto**:

“Quítese del fenómeno la parte que se sabe, por inducciones previas, que es el efecto de ciertos antecedentes, y el residuo del fenómeno será el efecto de los antecedentes restantes.”

Si se sabe que el efecto unido  $a, b, c$ , se debe á las causas  $A, B$  y  $C$ , y si se puede probar que  $a$  se debe á  $A$  y  $b$  á  $B$ , se sigue que  $c$  se debe á  $C$ . La aplicación más sencilla de este

método consiste en determinar el peso exacto de las mercancías contenidas en un furgón, pesando el furgón y la carga y quitando en seguida del peso total el del furgón vacío, peso determinado previamente. Podemos también determinar la parte que en la marea de aguas vivas se debe á la atracción solar, con tal de que se haya determinado previamente la altura de la marea debida á la luna, que es próximamente la media de las alturas de las mareas observadas durante todo el mes lunar. Restando en seguida la marea lunar el remanente será la marea solar.

Newton empleó este método en un bonito experimento que hizo para determinar la elasticidad de las diferentes sustancias; hacía oscilar una esfera de una sustancia cualquiera de modo que chocase con otra esfera de una sustancia diferente y también oscilante, y en seguida comparaba con las caídas originales lo que rebotaba cada esfera. Parte de la pérdida de movimiento se debe á la elasticidad imperfecta y parte á la resistencia del aire. Determinó esta parte de la manera más sencilla: hacía oscilar ambas esferas, pero de modo que no hubiese colisión ninguna, y observó cuánto cada vibración fué menor que la última. De esta manera pudo determinar fácilmente la cantidad que por la resistencia del aire tenía que substraer del efecto total observado.

Es este método el que se emplea cuando se tienen en consideración los errores ó las correcciones necesarias de las observaciones. Pocos termómetros son completamente correctos; pero si se pone un termómetro en el hielo fundente, que está exactamente á la temperatura de  $0^{\circ}$  C. ó  $32^{\circ}$  F., se puede observar exactamente lo que diste del cero el verdadero punto en que la columna se detiene, y esto indicará la corrección que tendrá que hacerse á las lecturas del termómetro. Además de la variación de la presión del aire, varias son las causas que influyen sobre la altura barométrica. Disminuye por la repulsión capilar que se ejerce entre el tubo de vidrio y el mercurio; aumenta por la expansión del mercurio por el

calor, si la temperatura es superior á 32° F., y puede aumentar ó disminuir por algún error en la longitud de la medida empleada para determinar esa altura. En una observación exacta todos estos efectos se calculan y se tienen en cuenta en el resultado final.

En el análisis químico se emplea constantemente este método para determinar los pesos proporcionales de las sustancias que se combinan. Así, la composición del agua se establece tomando un peso conocido de óxido de cobre, que se coloca en un tubo calentado, en el que se hace circular una corriente de hidrógeno, y condensando el agua producida en un tubo que contiene ácido sulfúrico. El peso del agua producida se determina restando del peso final del tubo condensador, el peso primitivo; la cantidad de oxígeno se encuentra restando el peso final del óxido de cobre, del primitivo. El peso del hidrógeno, que se ha combinado con el oxígeno, se determina restando del peso del agua el del oxígeno. Cuando se ejecuta el experimento con mucho cuidado, tal como se expone en las *Lecciones de química elemental del Dr. Roscoe*, (p. 38), se encuentra que 88.89 partes en peso de oxígeno se unen con 11.11 de hidrógeno para formar 100 partes de agua.

En todas las ciencias que admiten la medida de cantidades se emplea este método; pero más especialmente en la Astronomía, que es la más exacta de todas las ciencias. En astronomía casi todas las causas y efectos se han encontrado como **fenómenos residuos**, es decir, calculando los efectos de todas las atracciones conocidas sobre un planeta ó satélite, y observando en seguida á qué distancia está del lugar previsto. Cuando esto se hizo en el caso de Urano, se encontró todavía que el planeta estaba unas veces antes y otras después de su lugar verdadero. Este efecto residuo indicaba la existencia de una causa de atracción no conocida entonces; pero que pronto se descubrió bajo la forma del planeta Neptuno. Los movimientos de algunos cometas se han calculado de este modo, mas se ha observado que cada vez volvían un poco

después del debido tiempo. Este retardo indica la existencia de algún poder obstructivo en el espacio atravesado por el cometa, poder cuya naturaleza aún no se comprende.

## LECCIÓN XXX.

### MÉTODOS EMPÍRICO Y DEDUCTIVO.

Hasta aquí se han tratado la deducción y la inducción como si fueran métodos enteramente separados é independientes. En realidad se mezclan con frecuencia ó se emplean alternativamente en la investigación de la verdad. El mérito principal de los escritos lógicos de Mr. Mill consiste, probablemente, en que hace notar que el llamado **método baconiano** es enteramente insuficiente para descubrir las leyes de la naturaleza más oscuras y difíciles. Bacon aconsejaba que siempre debíamos comenzar por recoger hechos, clasificándolos según sus semejanzas y diferencias, y colegir de ellos gradualmente verdades más y más generales. Protestaba enérgicamente contra la "anticipación de la naturaleza," es decir, contra la formación de hipótesis y teorías relativas á lo que probablemente son las leyes de la naturaleza, y parecía que pensaba que el arreglo sistemático de los hechos debería reemplazar á todos los otros métodos. El lector pronto verá que los progresos científicos no han confirmado las opiniones de Bacon.

Cuando una ley de la naturaleza se ha establecido puramente por una inducción sacada de ciertas observaciones ó experimentos y no tiene ninguna otra garantía de su verdad, se dice que es una **ley empírica**. Como dice Mr. Mill, "Los investigadores científicos dan el nombre de leyes empíricas á las uniformidades reveladas por la observación ó la experimentación, pero que vacilan para admitir en los casos que difieren mucho de los actualmente observados, porque no se ve