

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

por qué razón la ley existiría." El nombre se deriva de la voz griega *ἐμπειρία*, que significa experiencia. Abundan los ejemplos de leyes empíricas. Sabemos empíricamente que un color amarillo intenso en la puesta del sol ó un aire perfectamente diáfano, anuncian la lluvia; que un pulso acelerado indica la fiebre; que los animales cornudos siempre son rumiantes; que la quinina tiene una influencia benéfica sobre el sistema nervioso, y en general, sobre la salud del cuerpo; que la estricnina produce un efecto terrible y opuesto al precedente; por observaciones repetidas se sabe que todas esas proposiciones son ciertas, pero no se puede aducir ninguna otra razón para justificar su verdad, es decir, no pueden armonizarse con otros hechos científicos; ni tampoco podíamos anticiparlas ó deducirlas de conocimientos previos. Tal vez de los ejemplos conocidos de inducciones empíricas, el más notable es la conexión que existe entre las manchas solares, las tempestades magnéticas, las auroras, y los movimientos de los planetas mencionados en la lección precedente; pues hasta ahora no se ha hecho ninguna sugestión sobre el modo según el cual se ejercen esas influencias magnéticas á través de las vastas dimensiones del sistema planetario. Las cualidades de las diferentes ligas metálicas son también buenos ejemplos de conocimiento empírico. Nadie podrá decir, antes de que por vez primera se mezclen dos ó tres metales, cuáles serán las cualidades de la mezcla; es imposible prever, por ejemplo, que el latón será á la par más duro y maleable que sus constituyentes, el cobre y el zinc; que la liga del cobre y del estaño, que es un metal muy blando, sea una substancia dura y sonora, propia para hacer campanas; que cierta mezcla de plomo, bismuto, estaño y cadmio, se fundirá á una temperatura (65°) muy inferior al punto de ebullición del agua.¹

Sin embargo, por útil que sea el conocimiento empírico, es de poca importancia si se compara con la masa colectiva

¹ *Lecciones de química elemental* de Roscoe, p. 175.

de conocimientos perfectamente coordinados y explicados que constituyen una ciencia deductiva adelantada. A medida que una ciencia se hace deductiva, y que permite comprender en una misma ley un número creciente de hechos en apariencia inconexos, se perfecciona. El que sabe exactamente por qué sucede una cosa, sabrá también con exactitud en qué casos sucederá, y qué diferencia en las circunstancias impedirá la realización del acontecimiento. Tómese, por ejemplo, la ruptura del vidrio provocada por la acción del calor. Ese es un efecto sencillo. La mayor parte de las personas tiene una idea confusa de que el agua caliente tiende natural é inevitablemente á romper el vidrio, y que el vidrio delgado siendo más frágil que el grueso, se romperá más fácilmente por el agua caliente. Sin embargo, la física da del efecto una razón muy clara, demostrando que es sólo un caso particular de la tendencia general del calor á dilatar las substancias. La ruptura se origina por el esfuerzo de la porción de vidrio calentada á dilatarse á pesar del obstáculo que opone la porción de vidrio más fría contigua á la primera. Mas entonces se ve de un golpe que esta teoría no será aplicable á las vasijas de vidrio delgado: el calor pasará á través de la masa de estas vasijas con tal presteza, que se calentarán casi uniformemente; en consecuencia, los químicos emplean habitualmente, para calentar ó hacer hervir los líquidos, vasijas de vidrio delgado, y de este modo no habrá que temer las rupturas que invariablemente se producirían si se emplearan botellas ó vasijas de vidrio grueso.

La historia de la ciencia prueba concluyentemente que la deducción ha sido la clave de todos los grandes descubrimientos. De todos los hombres que han existido, Newton, y después Galileo, el principal fundador de la filosofía experimental, son los que han poseído el poder de deducción más grande. Es en verdad pasmoso comparar los resultados á que llegó Newton en óptica con los que alcanzó en la química ó en la alquimia. Generalmente se ignora que Newton fué al-

quimista, y que gastó muchos días y muchas noches en hacer en su laboratorio incesantes experimentos, esforzándose en descubrir el secreto de la transmutación de los metales en oro. Pero en estas investigaciones todo era exclusivamente empírico, y no tenía ningún hilo que le sirviese de guía en el intrincado laberinto de los experimentos que corona el éxito. Unas cuantas conjeturas felices expuestas en sus célebres cuestiones (queries), son el único resultado de ese trabajo. Mas no fué así en la ciencia de la óptica; en ella llegó á leyes generales, y cada experimento sólo le servía para idear nuevos experimentos y anticipar sus resultados, siendo cada experimento más hermoso que los anteriores. Así pudo establecer las firmísimas bases de la ciencia del espectro, que ha conducido en la actualidad á maravillosos resultados. Algunas personas supondrán que habiendo vivido Newton poco tiempo después que Bacon, adoptó el método baconiano; pero creo que no se hace en los escritos de Newton alusión á Bacon. Aun cuando se apele constantemente á la observación y al experimento en la grande obra de Newton intitulada *Los principios*, no obstante, ésta es el resultado de un constante y sostenido esfuerzo de deducción matemática.

Lo que Mr. Mill ha llamado el **método deductivo**, que pienso que con más propiedad puede llamarse el **método completo ó combinado**, consiste en el uso alternativo de la inducción y la deducción. Puede decirse que consta de tres partes, que son:

1ª Inducción directa.

2ª Deducción, ó como Mr. Mill la llama, raciocinio.

3ª Verificación.

El primer procedimiento consiste en invocar á la experiencia, mas de un modo tan sencillito y toscito que sólo se tiene un vislumbre de las leyes que obran, sin que ese procedimiento sea suficiente para establecer la verdad de esas leyes. Suponiéndolas verdaderas provisionalmente, deducimos en seguida los efectos de esas mismas leyes en otros casos, y una ape-

lación ulterior á la experiencia confirmará ó infirmará la verdad de las supuestas leyes. En suma, se apela á la experiencia dos veces y esas apelaciones se enlazan por medio de un razonamiento intermedio. Por ejemplo, Newton hizo pasar á través de un prisma un rayo de luz solar, y encontró que al salir del prisma se desplegó en una serie de colores muy parecidos á los del arco-iris. Adoptó la teoría que la luz blanca se compone realmente de luces diferentemente coloridas, que se separan al atravesar el prisma; y coligió, que si esta teoría es verdadera, haciendo pasar á través de un segundo prisma un rayo aislado del espectro, por ejemplo el amarillo, éste no sufrirá una descomposición ulterior, sino que permanecerá amarillo. La experiencia confirmó esta previsión, y en seguida imaginó Newton una serie de experimentos confirmatorios parecidos, que pusieron á la teoría fuera de toda duda.

Pascal hizo transportar un barómetro á la cumbre del Puy de Dôme en Francia, y esto no lo hizo accidentalmente. Galileo en verdad conoció accidentalmente el hecho de que el agua no se eleva en una bomba ordinaria á más de 33 pies, y así se vió obligado á inferir que el peso limitado de la atmósfera causaba esa elevación. Razonando Torricelli por medio de esta teoría, coligió que el mercurio, que es catorce veces más pesado que el agua, no subiría á más de la catorzava parte de esa altura, que es 29 ó 30 pulgadas próximamente. Habiéndose realizado el experimento, se verificó la teoría. Sin embargo, fué el genio de Pascal el que vió que era necesario variar de otra manera el experimento, transportando el barómetro mercurial á la cumbre de una montaña. Si el peso de la atmósfera fuese realmente la causa de la suspensión de la columna mercurial, la altura de esta columna tendrá que ser menor en la cumbre de la montaña que en la base. El éxito del experimento verificó completamente la teoría primitiva. El progreso de las ciencias experimentales depende principalmente del modo según el cual un experimen-

to sugiere otros, y revela hechos nuevos que probablemente no habríamos conocido nunca, si nos hubiéramos concretado al método baconiano: recoger hechos primeramente y sacar después las inducciones.

El resultado más importante del método deductivo es nada menos que la **teoría de la gravitación**, que constituye un ejemplo perfecto del procedimiento seguido en ese método. Podemos suponer que la inducción preliminar consistió en este caso en la célebre caída de la manzana, que tuvo lugar mientras estaba sentado Newton en un huerto durante su retiro de Londres, retiro motivado por la terrible peste que entonces hubo en Londres. Dícese que la caída de la manzana indujo á Newton á pensar que debía de haber algún poder que tendía á acercar á los cuerpos hacia el centro de la tierra, y se preguntó por qué la luna no cae sobre la tierra por ese motivo. El astrónomo de Lancashire Horrocks sugirió á Newton otro hecho, á saber, que cuando se fija una piedra á uno de los extremos de una cuerda, y se le imprime un movimiento de rotación, la piedra ejerce sobre la cuerda cierta acción, designada con frecuencia con el nombre de fuerza centrífuga. Horrocks hizo observar que al girar los planetas al rededor del sol, deben tender á separarse del centro de un modo semejante al de la piedra. Esta opinión de Horrocks Newton la conocía, y es probable que haya supuesto que la fuerza atractiva de la tierra neutralizaba exactamente á la fuerza centrífuga de la luna, de modo que el satélite estuviera animado de una rotación constante.

Pero felizmente el mundo científico poseía ya ciertas leyes empíricas concernientes á los movimientos de los planetas, sin las cuales no hubiera hecho Newton gran cosa. Kepler pasó su vida observando los cuerpos celestes, y forjando hipótesis para explicar sus movimientos. Sus ideas eran en general desatinadas y estaban destituidas de fundamento; mas sus improbables labores fueron coronadas por el establecimiento

de las tres leyes que llevan su nombre, y que definen la naturaleza de las órbitas recorridas por los planetas y la relación entre la magnitud de esas órbitas y los tiempos gastados por los planetas para recorrerlas. Newton pudo demostrar por medio del razonamiento geométrico que si un cuerpo giraba alrededor de otro y estaba solicitado por una fuerza atractiva que variase en razón inversa de la distancia al cuerpo central, describiría necesariamente una órbita á la que serían aplicables las leyes de Kepler, y que en consecuencia se asemejaría exactamente á las órbitas planetarias. Esta apelación á los resultados de la experiencia constituyó una verificación parcial de la teoría de Newton. Pero varios otros filósofos en sus disquisiciones sobre esta materia habían también llegado á los mismos resultados. El título principal de Newton á la inmortalidad estriba en que prosiguió sus demostraciones y verificaciones hasta que llegó á una demostración completa. Para llegar á este resultado era necesario demostrar primeramente que la luna tiende en realidad á caer sobre la tierra, justamente con la misma rapidez con que caería una piedra en igualdad de circunstancias. Empleando para conocer la distancia de la luna á la tierra los datos en aquel tiempo alcanzados que le parecieron mas dignos de confianza, Newton calculó que la luna tiende á caer recorriendo 13 pies en un minuto, mientras que si se elevara una piedra á una altura igual á la distancia de la luna, recorrería 15 pies en el mismo tiempo. La mayoría de los sabios hubiera considerado esta aproximación á la coincidencia perfecta, como una prueba de la teoría de Newton; pero el amor que profesaba á la verdad exacta este grande hombre, hacía que no se pareciera en nada á la gran mayoría de los filósofos, y la discrepancia que observó le "hizo abandonar todo pensamiento ulterior sobre este asunto."

Esa discrepancia no la pudo explicar Newton sino después del transcurso de muchos años (15 ó 16 probablemente), entonces tuvo conocimiento de datos más exactos para calcular

la distancia de la luna, y la teoría de la gravitación quedó, por lo que atañe á la luna, plenamente verificada; mas esto sólo fué para Newton el principio de una serie prolongada de cálculos deductivos, de los que cada uno terminaba en una verificación. Si la tierra y la luna se atraen entre sí, lo propio que el sol y la tierra, no hay ninguna razón para que el sol y la luna no se atraigan. Newton sacó las consecuencias de esta inferencia, y demostró que la luna no se debía mover como si la tierra la atrajera únicamente, sino que su movimiento tendría que acelerarse algunas veces y en otras retardarse. Las observaciones de luna de Flamsteed demostraron efectivamente que las cosas pasaban de la manera prevista por Newton. Newton infirió también que como las aguas del océano no están rígidamente adheridas á la tierra, podían atraer á la luna, independientemente del resto de la tierra, y ser atraídas por ella. En consecuencia, por esta causa se originarán ciertos movimientos diurnos exactamente parecidos á las mareas, y las mareas verificaron el hecho previsto. Lo que constituye la preeminencia de Newton sobre todos los filósofos, es el poder casi sobrehumano que desplegó al sacar geoméricamente todas las consecuencias de su teoría, y al someterlas á la reiterada comparación con la experiencia.

La grande obra que inició Newton la han continuado sus pósteros. Los lugares de la luna y de los planetas se calculan para cada uno de los días del año, en el supuesto de que la ley de gravitación de Newton sea enteramente cierta. Esos lugares se observan cada noche, hasta donde esto es posible, en el observatorio de Greenwich ó en cualquier otro; y hay siempre una ligera diferencia entre el lugar observado y el calculado, y si los lugares coincidiesen exactamente, sería meramente accidental la coincidencia. Nunca se ha probado, ni puede tampoco probarse nunca, que la teoría es completamente verdadera; pero cuanto más exactamente se calculan los resultados de la teoría, y cuanto más se perfeccionan los instrumentos del astrónomo, tanto más íntima es la corres-

pondencia. Así, las rudas observaciones de Kepler y los pocos é insignificantes hechos que obraron sobre la mente de Newton, fueron la base de una teoría que ha proporcionado un sinnúmero de medios propios para anticipar nuevos hechos, y por la verificación constante, llevada hasta donde puede ir la exactitud humana, esa teoría ha quedado ya fuera de toda duda razonable.

Si la limitada extensión de este mandal me lo permitiera, probaría que todas las grandes teorías han seguido poco más ó menos el mismo camino. La teoría ondulatoria del sonido fué realmente verificada por Newton casi de un modo completo, aun cuando al calcular, partiendo de esa teoría, la velocidad del sonido hubiera una ligera discrepancia, que sólo se pudo explicar por investigaciones subsiguientes. Esta teoría sugirió sin duda la teoría correspondiente de la luz, que cuando fué adoptada por Young, Fresnel y otros físicos siempre condujo á resultados que estaban en último análisis en armonía con la observación; y aun puso á los matemáticos en situación de anticipar resultados que la más ardiente imaginación hubiera difícilmente adivinado, y que nunca hubieran revelado experimentos casuales.

Las leyes de Dalton sobre las proporciones equivalentes en química, si no es que hasta su misma teoría atómica, se fundaron en experimentos realizados con los aparatos más toscos y sencillos; pero los resultados que de ellos se deducen se verifican diariamente por medio de los delicadísimos procedimientos del análisis químico moderno. La teoría todavía más reciente de la conservación de la energía, vagamente anticipada por Bacon, Rumford, Montgolfier, Seguin, Mayer y probablemente por algunos otros, la hizo pasar Mr. Joule por el crisol de la verificación experimental, é ideó para verificarla experimentos de los más hermosos y decisivos que se registran en la historia. Mucho tiempo tendrá que transcurrir todavía para que los hombres científicos saquen de ese

gran principio todas sus consecuencias; pero como corresponde con los hechos, queda ya colocado fuera de toda duda.

Pienso que ya quedará puesto de manifiesto, que aun cuando la observación y la inducción deben de ser siempre el fundamento de todo conocimiento cierto relativo á la naturaleza, empleándolas sin la ayuda de la deducción no se hubiera llegado á los resultados de la ciencia moderna. El que simplemente recoge y ordena hechos, rara vez llegará á adquirir un cabal conocimiento de las leyes que los rigen. El que forja una teoría y se conforma, como Descartes, con las consecuencias que de ella saca, solamente asombrará al mundo con su mal empleado genio; pero quien con más provecho cultiva una ciencia, es el que teniendo en la mente un grande acopio de teorías y de conceptos imaginativos, posee en alto grado la facultad de anticipar sus consecuencias, tiene el mayor esmero al compararlas con hechos inconcusos, y una gran sinceridad para confesar paladinamente los noventa y nueve desaciertos en que ha incurrido, ántes de haber alcanzado una ley de la naturaleza, tan sólo, que sea verdadera.

LECCION XXXI.

EXPLICACIÓN, TENDENCIA, HIPÓTESIS, TEORÍA Y HECHO.

En las precedentes lecciones he empleado varias expresiones que no fueron definidas. Ahora es conveniente ejemplificar el uso de estos términos, y llegar hasta donde sea posible á una clara inteligencia de sus significados.

Explicación significa literalmente hacer clara ó llana una cosa, de modo que nuestra perspectiva no sea interrumpida por nada que sea desigual ú obscuro. La **explicación científica** consiste en armonizar un hecho con otro, un hecho con una ley, ó una ley con otra, de modo que se vea que ambos

son casos particulares de una ley uniforme de causación. Si tenemos noticia de un gran temblor en cierto lugar de la tierra, y subsiguientemente sabemos que un volcán vecino ha hecho erupción, decimos que así queda parcialmente explicado el terremoto. La erupción demuestra que en el interior de la tierra entraron en juego grandes fuerzas, y el terremoto es manifestamente un efecto de esas causas. Las grietas que claramente se ven en ciertas regiones de Gales y de Cumberland, se explican por la preexistencia de ventisqueros en esas montañas; las grietas armonizan exactamente con los efectos de los ventisqueros que actualmente existen en la Suiza, en la Groenlandia y algunas otras comarcas. Estas explicaciones se pueden considerar como explicaciones de un hecho por otro.

También se puede explicar un hecho por medio de una ley general de la naturaleza, es decir, que se puede demostrar que la causa y el modo de producirse ese hecho son comunes á muchos otros casos en apariencia diferentes. Así, la ruptura del vidrio fué explicada en otro lugar como uno de los resultados de la ley universal que dice que el calor tiende á aumentar las dimensiones de los cuerpos sólidos. Los vientos alisios se explican por la tendencia del aire caliente á subir y á ser reemplazado por el aire frío y más denso en consecuencia; son un caso particular de esa tendencia. Las mismas leyes térmicas y mecánicas que producen el tiro de una chimenea cuando hay fuego en el hogar, originan vientos que soplan de cada uno de los hemisferios hacia el ecuador. Al propio tiempo se explica por medio de las leyes más simples del movimiento la dirección oriental según la cual vienen los vientos, pues como la tierra gira de Oeste á Este, y se mueve con mucha mayor rapidez en el ecuador que cerca de los polos, el aire tiende á conservar su velocidad relativamente menor, y la tierra que cerca del ecuador se mueve debajo de esa masa de aire, ocasiona un movimiento del viento de Oeste á Este.