EL MÉTODO CIENTÍFICO

**1.- El modelo científico: el método hipotético-deductivo**

Etimológicamente, “método” significa camino que lleva a un fin. Cabe distinguir entre un sentido general y un sentido particular. El primer sentido designa la estrategia general o pautas generales a seguir, mientras que el segundo se refiere a los procedimientos concretos. Por lo que se refiere a las ciencias, está claro que cada una de ellas tiene su propio método, en el sentido particular, diferente de las demás: los procedimientos de investigación científica difieren según las distintas ciencias, y es lógico que así sea pues los problemas de los que tratan son también diferentes. Sin embargo, también es posible entender estos diferentes métodos –correspondientes a diferentes ciencias- como aplicaciones distintas de un patrón común de razonamiento, como si hubiera un modelo general al que se ajustan todas ellas. En este sentido general, se habla del “método hipotético-deductivo” como el modelo de razonamiento científico característico de las ciencias empíricas o fácticas; o, simplemente, como el “modelo del saber científico”, de nuestro conocimiento racional de la realidad.

Este modelo excluye las actividades que no tienen como referencia el mundo observable. No es aplicable, por tanto, a las ciencias formales (lógica y matemáticas) que tienen por objeto ciertas entidades ideales (argumentos, números, figuras geométricas, etc.) y que son independientes de contenidos empíricos; ni por supuesto tampoco es aplicable a ciertos saberes pseudocientíficos (teología, ufología, quiromancia, astrología, etc.) que no tienen como referencia el mundo observable. Por tanto, nos vamos a limitar a las ciencias empíricas, dentro de las cuales cabe distinguir entre ciencias naturales y ciencias humanas. Es en las primeras, en las ciencias naturales, donde se aplica con mayor exigencia y rigor el método hipotético-deductivo; las segundas, por la propia naturaleza de su estudio, adolecen de una menor exactitud en sus teorías y de un menor poder predictivo. Pero no por ello quedan al margen de la empresa humana que conocemos como *ciencia*, pues también se inspiran en el modelo de conocimiento que se desprende de este método.

¿En qué consiste? A grandes rasgos, en suponer que se dan determinadas relaciones entre fenómenos y en contrastar con la experiencia la serie de consecuencias que obtendríamos de ser verdaderas tales suposiciones. A partir de ahí, pretende ofrecer explicaciones sistemáticas de aquellas realidades que estudia, sean fenómenos del mundo físico o del ámbito social y humano. Para convertirse en objeto de investigación científica, estos fenómenos han de ser de algún modo contrastables empíricamente, es decir, comprobables por la observación o producidos por el experimento. Las explicaciones científicas generadas por este método de conocimiento, tienen, además, la peculiaridad de ser expuestas, por un lado, en un lenguaje preciso (a ser posible, el lenguaje matemático) y, por otro, de una manera bien ordenada y organizada.

**2. Hipótesis, leyes y teorías**

La actividad básica de la ciencia se dirige a descubrir regularidades entre los fenómenos que puedan servir para explicar esos fenómenos. Una hipótesis científica es una afirmación sobre la existencia de una de esas regularidades o sobre las causas de la misma. Es, por tanto, un enunciado que se propone para explicar por qué o cómo se produce un fenómeno o conjunto de fenómenos relacionados entre sí. A fin de distinguir las hipótesis científicas de las suposiciones sin fundamento, es preciso que la hipótesis elegida sea, como mínimo, *consistente* (esté libre de contradicciones), sea *relevante* para el asunto de que se trate y, antes que nada, resulte *contrastable.*

Respecto a la formulación de hipótesis hay asociados dos problemas que es necesario distinguir. Uno es: ¿cómo se origina una hipótesis? O, también: ¿hay algún método general para llegar a formular o descubrir una hipótesis científica? Otro problema distinto es: ¿cómo se justifica una hipótesis? Es decir: ¿hay un método general que nos permita pensar que una hipótesis está bien apoyada por los hechos conocidos? Estos dos problemas diferentes se conocen con las denominaciones respectivas de “contexto de descubrimiento” y “contexto de justificación” de hipótesis. Respecto al contexto de descubrimiento, digamos que no existe un método efectivo y seguro para buscar hipótesis, no hay ninguna receta para lograr descubrirlas. Esta búsqueda, y su eventual éxito final, depende de muchos factores imposibles de medir con exactitud, como son la experiencia e imaginación del científico, su formación personal, sus convicciones e intereses (e incluso sus prejuicios ideológicos) o, muchas veces también, la simple casualidad o el azar imprevisible.

De todas formas, nuestro interés se sitúa en el contexto de justificación, pues el método hipotético-deductivo se mueve en el ámbito de la justificación, no del descubrimiento.

Cuando una hipótesis es suficientemente general e importante y ha salido victoriosa de uno o varios procesos de comprobación, va siendo generalmente considerada como una *ley científica*. En último término, que se llame “hipótesis” o “ley” depende del grado en que la comunidad científica la considere demostrada, y en muchas ocasiones ambos términos se usan indistintamente. Con el desarrollo de una ciencia, muchas de las leyes científicas se organizan y sistematizan formando una *teoría científica*. Puede compararse una teoría con un árbol, las leyes que la forman con sus ramas y el tronco, y las raíces con las hipótesis.

Así, pues, uno de los requisitos de las leyes científicas es que pertenezcan a algún sistema, a algún conjunto organizado de enunciados que llamamos teoría. Las leyes no son enunciados aislados, sino enunciados que ocupan un lugar privilegiado dentro de una teoría científica. Su valor viene dado por la relación que mantiene con otros enunciados con los que conforma el sistema que podemos llamar “teoría”. Eso impide considerar como genuinas leyes científicas enunciados que son simples generalizaciones de la experiencia, tales como “todo hombre tarda más de 5 sg. en correr 100 m”, o “todo árbol puede dar leña”.

**3. Contrastación de hipótesis**.

Según el método hipotético deductivo, cuando se ha formulado una hipótesis, los pasos a dar a continuación son: a) deducir de la hipótesis básica una consecuencia o serie de consecuencias; y b) confrontar tales consecuencias con la experiencia. A este proceso se le llama contrastación de hipótesis.

En definitiva, contrastar una hipótesis es someter a prueba su valor. Cuando la contrastación se puede realizar por obra y voluntad del científico se dice que la hipótesis se pone a prueba experimentalmente. Otras veces, la experimentación es raramente posible, y entonces se entiende que se efectúa la contrastación empírica mediante la observación de los hechos implicados por la hipótesis.

En cualquier caso, la observación siempre está guiada por la hipótesis, no es una observación casual o independiente de ella. Observar no es meramente abrir los ojos y darse cuenta de lo que ocurre. No lo observamos todo, sino sólo aquello que nos interesa o suponemos que es relevante para un determinado problema. Además, para poder observar algo hay que disponer de una cierta hipótesis, por muy elemental que sea, que nos permita interpretarlo (“no hay hechos sino para teorías”): vemos el movimiento del sol por el cielo, pero observamos –entendemos- *que es* un efecto del movimiento de la tierra.

# 3.1. Elementos de una contrastación

El elemento más importante es la Hipótesis (H), sin la cual la contrastación no tendría sentido. Pero hay otros elementos imprescindibles:

-Predicción (P).- es un hecho posible que se deduce lógicamente de la hipótesis. Lo ideal para que se trate de una predicción genuina es que se refiera a un hecho cuya existencia es desconocida al formularse la hipótesis, y adopta la forma de enunciado que describe la ocurrencia de tal o cual suceso o hecho posible, bajo tal y cual circunstancia y en tal o cual momento. Esta es la información que aportan los siguientes elementos de la contrastación.

-Condiciones iniciales (CI).- son los hechos que se dan en un momento y lugar determinados y que son pertinentes para derivar la predicción a partir de la hipótesis. Describen el estado en que se encuentra un cierto sistema del mundo en un determinado momento, distinguiendo las propiedades que tienen los objetos estudiados o las relaciones que hay entre ellos.

-Supuestos auxiliares (SA).- son verdaderas hipótesis auxiliares que acompañan y apoyan a la hipótesis principal. Son suposiciones o creencias aceptadas acerca de los hechos investigados (o sobre las circunstancias que rodean el experimento), que es necesario tener presente para explicar que el suceso predicho por la hipótesis se siga de los hechos descritos en las C.I. Su importancia puede resultar crucial para mantener la validez de la hipótesis principal pese al incumplimiento de alguna de sus predicciones. La causa de ese fallo en la predicción no sería atribuible entonces al error de la hipótesis, sino que sería explicada mediante algún "supuesto auxiliar".

**3.2. El razonamiento de contrastación: refutación y justificación**

Para averiguar si la P es verdadera (o si se cumple el hecho predicho), se plantea un experimento. Por sí solo el experimento nos puede proporcionar, en el mejor de los casos, la información de que P es verdadera o de que es falsa (de que ocurre o no el hecho que describe). De aquí, sin más, no podemos concluir nada sobre la H. Necesitamos, a partir de la información sobre la P, formular un argumento a favor o en contra de ella. El resultado final del proceso de contrastación será, pues, o la justificación (confirmación o validación) o la refutación de la H.

Veamos, pues, los procesos de razonamiento que llevan a rechazar y aceptar hipótesis en la ciencia.

Para que un determinado enunciado se considere una P, ha de ser una consecuencia lógica de una H, en conjunción con las CI y los SA. Ésta será la primera condición de la contrastación de una H.

## CONDICIÓN 1: Si (H, CI y SA), entonces P

Supongamos ahora que mediante experimento u observación se haya comprobado que P es falsa. Entonces podremos negar justificadamente la H. El razonamiento de la **refutación** es:

Si H (CI y SA), entonces P

No-P

No-H

Para justificar una H no basta con cumplir la condición 1. Si bastara esta condición, el razonamiento que conduce a la justificación tendría el esquema de la “falacia de la afirmación del consecuente”. Tendría esta forma:

Si H (CI y SA) entonces P

P

H

Necesitamos suponer otra condición y armar a partir de ella otro razonamiento.

CONDICIÓN 2: si No-H (Ci y SA), entonces muy probablemente No-P.

En esta condición se basa el argumento de **justificación**, cuyo esquema es el siguiente:

Si No-H (y CI y SA), entonces muy probablemente No-P

P

H (muy probablemente)

Para justificar una H deben cumplirse las dos condiciones.

**--------------------------------------------------------------------------------------------------**

**TEXTOS**

(**Orientaciones para el comentario**: deben distinguirse los elementos de la contrastación, comprobar si se cumplen las condiciones 1 y 2 de la contrastación y elaborar el razonamiento que lleva a la justificación o refutación de la hipótesis).

**1.- La fiebre puerperal**

Ignaz Semmelweis (1818-1865) investigó a mediados del s. XIX las causas de la fiebre puerperal(fiebre en el postparto). Entre los años 1844 y 1846, la tasa de mortalidad debida a la fiebre puerperal en la Primera División de Maternidad del Hospital General de Viena era alrededor del 10%, mientras que la tasa en la Segunda División era de 2% aproximadamente. En esta última División, las mujeres eran atendidas solamente por comadronas, en lugar de médicos.

Semmelweis trató en vano durante dos años de averiguar la razón por la cual la tasa de mortalidad era mayor en la División llevada por médicos y, por tanto, supuestamente mejor atendida. Un día uno de sus colegas se hizo un pequeño corte en un dedo con el bisturí de un estudiante de medicina en el momento que realizaba una autopsia. Su colega murió al poco tiempo, mostrando síntomas exactamente iguales a los de la fiebre puerperal.

Semmelweis se preguntó si no podía ser que la enfermedad fuera causada por algo existente en la "materia cadavérica", algo que les estaba siendo transmitido a las parturientas por medio de las manos de los doctores y estudiantes de medicina que pasaban las mañanas en la sala de autopsias, justo antes de efectuar su ronda por la División.

Semmelweis razonó que, si su conjetura era cierta, la tasa de mortalidad podría ser disminuida de modo espectacular, simplemente dando instrucciones para que los doctores y estudiantes se lavaran las manos con un fuerte agente limpiador antes de examinar a sus pacientes. Insistió, por tanto, en que ningún doctor o estudiante entrara en la sala donde se encontraban las parturientas sin lavarse las manos en una solución de cal clorada, a la que Semmelweis supuso lo suficientemente fuerte como para eliminar el agente causante de la enfermedad, fuera éste el que fuera.

La disposición fue efectiva: la tasa de mortalidad de la Primera División en 1848 fue de menos del 2%.

**2.- la generación espontánea**

Una de las más importantes polémicas científicas del s. XIX fue la disputa sobre la hipótesis de la generación espontánea planteada ante la existencia de los bien conocidos fenómenos de fermentación y putrefacción. En estos procesos aparecían pequeños organismos e, incluso, en algunos de ellos, como en el caso de determinados procesos de putrefacción, se originaban gusanos y otros pequeños animales perfectamente detectables a simple vista. La cuestión era si en esos casos la vida surge espontáneamente, en ausencia total de gérmenes que la originen, en cuanto se dan las condiciones químicas adecuadas en el ambiente.

Hacia 1872 la disputa había remitido algo en su virulencia debido a que los trabajos de Louis Pasteur (1822-1895) parecían indicar claramente que los partidarios de la hipótesis estaban equivocados. Así lo había reconocido la Academia de Ciencias de Paris, dándole a éste la razón en sus discusiones con otro destacado naturalista francés, Félix-Archimède Pouchet (1800-1872), durante muchos años el más destacado defensor de la mencionada hipótesis.

Precisamente en ese año, el biólogo inglés Henry Charlton Bastian reavivó la polémica publicando un grueso volumen en que se aportaban datos que parecían favorecer la hipótesis da la generación espontánea. Bastian había calentado orina ácida por encima de la temperatura de ebullición (en torno a los 110 ºC). Esta orina, cuando se la resguardaba del aire, permanecía clara y, por tanto, al parecer, estéril. Sin embargo, cuando se introducía una solución de potasa, procurando que la orina siguiera resguardada del aire, al cabo de diez horas la orina hervía de bacterias vivas.

Pasteur y un destacado físico inglés, JohnTyndall (1820-1893) pusieron en duda el supuesto de Bastian de que en sus experimentos se hubiera logrado una auténtica esterilización, de manera que tanto la orina ácida como la solución de potasa que se le añadía estuvieran realmente libres de gérmenes. Descubrieron, por una parte, que el agua destilada que Bastian había utilizado para disolver la potasa podía contener microorganismos y, por otra, que ciertos gérmenes, cuando están en forma de esporas, pueden resistir perfectamente temperaturas como las que había alcanzado la orina en los experimentos

de Bastian. Ellos y sus colaboradores repitieron esos experimentos siendo mucho más cuidadosos con la esterilización.. En la orina no se desarrolló vida alguna.

**3.- La transmisión del cólera**

Las epidemias, ese gran azote de la humanidad que tanto ha disminuido en nuestro siglo, se atribuyeron mayoritariamente hasta finales del s. XIX al castigo divino. Aunque hoy sabemos que sus causas son totalmente distintas, todavia hay gente que, presa de la superstición, sigue atribuyéndolas al castigo divino. El estudio realizado por John Snow sobre la epidemia de cólera a mediados del s. XIX en Londres es una de las primeras investigaciones científicas relacionadas con las causas de las epidemia.

Uno de los problemas más urgentes en los casos de epidemias es averiguar el modo de evitar el contagio, y, para ello, naturalmente, es necesario tener una buena apreciación de la forma en que éste se produce. En el s. XIX existía la teoría (en el sentido de hipótesis) de los “efluvios”, según la cual la causa de la transmisión de la enfermedad es la inhalación de los “efluvios” exhalados al aire por los pacientes vivos u originados por los muertos.

Había varios motivos para dudar de la hipótesis de los “efluvios”. Entre ellos estaba el de que era una enfermedad muy localizada en el aparato intestinal, mientras que con esa hipótesis era de esperar más bien una enfermedad que afectase al cuerpo de una forma más generalizada. Estos motivos influyeron para que John Snow buscara otra explicación del contagio. Snow creía, como unas pocas personas por entonces, que este tipo de enfermedades eran producidas por lo que hoy llamamos microorganismos (varios tipos de microorganismos, incluyendo bacterias, habían sido ya relativamente bien observados a finales del s. XVIII con la ayuda del microscopio).

La confirmación de estas ideas, de que cierto tipo de bacterias son las responsables del cólera tuvo aún que esperar algunas décadas. Sin embargo, Snow, guiado por la mencionada creencia, formuló una hipótesis sobre las causas de la transmisión del cólera que guió su estudio de la epidemia de Londres. Conjeturó que el cólera se transmitía por la ingestión de pequeñas, pero suficientes, cantidades de “materia mórbida” procedente de los excrementos y los vómitos de los pacientes de cólera.

Snow averiguó que existía en Londres una parte importante de la ciudad en la que el agua era suministrada por dos compañías distintas. Cada casa recibía el suministro de una de las compañías, pero ocurría frecuentemente que, de dos casas contiguas, a una la suministraba una compañía y a la segunda la otra, de manera que el suministro estaba muy bien repartico entre las dos compañías.

Lo que hacía interesante este caso era que una de las compañías recogía el agua en un lugar del río Támesis al que iban a parar los desagües de parte de la comunidad, mientras que la otra lo hacia aguas arriba, en un sitio alejado de desagües. Dadas estas circunstancias, y partiendo de su hipótesis, Snow dedujo que debería haber una notable diferencia en la cantidad de enfermos de cólera entre las casas que recibían el agua de una compañía y las que la recibían de la otra, con menos casos en las que la recibían de la compañía que recogía el agua en el lugar alejado de los desagües.

Había grances dificultades para averiguar si lo predicho por Snow era cierto. Entre otras cosas era realmente difícil averiguar en buena parte de los casos, cuál era la compañía que suministraba el agua a una casa determinada. Pero Snow utilizó ingeniosamente una diferencia en la composición química del agua suministrada por cada compañía para averiguar las casas que la recibían de una o de otra, cuando los inquilinos, como era frecuente, lo ignoraban. El agua suministrada por una de las compañías tenía más cloruros que la de la otra, de manera que Snow pudo concebir una prueba fácil para averiguar lo que quería. Esa prueba se basaba en el hecho de que cuando al agua con cloruros se le añade nitrato de plata se forma una nube blanca de cloruro de plata insoluble.

De esta manera, recogidos los datos pertinentes se averiguó que, efectivamente, la proporción de enfermos de cólera entre los usuarios de la compañía que cogía el agua cerca de los desagües era mucho mayor que la existente entre los usuarios de la otra compañía.

**4: la deriva de los continentes**

En 1915, el meteorólogo alemán Alfred Wegener propuso la hipótesis de que en el Mesozoico todos los actuales continentes estaban unidos en uno, al que llamó Pangea, del cual procederían los actuales continentes. La mayora de los geofísicos y geólogos estimaron durante muchos años que la hipótesis era sumamente especulativa (es decir, no contaba con datos sólidos que la apoyaran) y, por tanto, era ampliamente rechazada. Sin embargo en lo años sesenta del pasado siglo hubo un cambio de opinión: en contra de lo que se pensaba hasta entonces, hoy sabemos que los continentes se mueven.

En la actualidad se cree que la corteza terrestre está formada por un sistema de masas de tierra (‘placas tectónicas’ es el término técnico). Estas masas de tierra son, en efecto, las porciones en que se ha fragmentado una única masa de tierra primitiva y que han ido derivando hasta ocupar las posiciones que conocemos. Si observamos el perfil occidental de África y el perfil oriental de Sudamérica, salta a la vista que tenemos formas invertidas y complementarias. Por ello, la aplicación de la hipótesis general al caso de África y Sudamérica ha parecido siempre plausible.

Sin embargo, 1as afirmaciones sobre la deriva de los continentes no pudieron someterse a buenas contrastaciones mientras no se tuvieran maneras realmente fiables de determinar la edad de piedras y minerales. Estos procedimientos se desarrollaron al fin, basándose en el estudio de los restos de la desintegración radiactiva natural, aplicándose, entre otros casos, en el experimento diseñado para contrastar la hipótesis particular de que África y Sudamérica formaban parte de una única masa de tierra que se fue rompiendo y cuyas partes se fueron separando posteriormente. Los investigadores nos cuentan momentos importantes de la contrastación de esa hipótesis en el siguiente texto

«De especial interés para nosotros al comienzo fue el límite bien definido existente entre la región que se encuentra entre Ghana, la Costa de Marfil y al oeste de esos países, de 2.000 millones de años de edad geológica, y la región comprendida por Dahomey, Nigeria y al este, de 600 mil!ones de años. Esta línea aparece en dirección NE-S0 haciendo contacto con el mar cerca de Accra, en Ghana. Si Brasil hubiera estado unido a África hace 500 millones de años, la frontera entre las dos regiones debería hacer su aparición en América del Sur, cerca de San Luis.

Para sorpresa y satisfacción nuestra, las edades caían dentro de dos grupos: 2.000 millones en la parte oeste y 600 millones en la parte este de una línea fronteriza que se encuentra exactamente donde se la había predicho. Es como si un pedazo del África Occidental de 2.000 millones de años de antigüedad se encontrara en América del Sur.»