

LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

El Método Hipotético Deductivo

EL DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO

Dejamos por ahora la consideración de la ciencia como conocimiento científico para ocuparnos de la ciencia como actividad productora de dichos conocimientos, es decir, como *investigación científica*.

La pregunta fundamental en esta área, en lo que se llama el *contexto de descubrimiento*, podría ser: ¿Cuál es el o los métodos fundamentales para formular teorías científicas?, o ¿cuál es la fuente de nuestros conocimientos científicos?

La respuesta a esta pregunta es un tanto desconcertante: no hay ninguna fuente de conocimiento ni ningún método que nos lleve con seguridad a efectuar un descubrimiento científico. Analicemos algunos ejemplos procedentes de la historia de la ciencia para entender más claramente lo que queremos decir respecto del descubrimiento científico.

Con frecuencia se menciona la anécdota de Arquímedes, quien descubrió las leyes de la hidrostática mientras se bañaba. Al darse cuenta de la liviandad de su propio cuerpo se dice que salió corriendo del baño gritando alegremente “Eureka, eureka” (lo encontré). El origen de la teoría de Newton, y en particular, la ley de la gravitación universal habría que buscarlo (según una anécdota seguramente falsa) en la famosa manzana que cayó sobre su cabeza. Un tercer caso, menos conocido, es el de Kekulé, el químico que descubrió la representación en forma hexagonal de la molécula de bencenos, según cuenta Hempel, alemán radicado en EEUU:

... durante mucho tiempo intentó sin éxito hallar una fórmula de la estructura de la molécula de benceno hasta que, una tarde de 1865, encontró una solución a su problema mientras dormitaba frente a la chimenea. Contemplando las llamas, le pareció ver átomos que danzaban serpenteando. De repente, una de las serpientes se asió la cola y formó un anillo, y luego giró burlonamente ante él. Kekulé se despertó de golpe: se le había ocurrido la idea –ahora famosa y familiar- de representar la estructura molecular del benceno mediante un anillo hexagonal.

Filosofía de la ciencia natural, C. Hempel, 1966.
Alianza, Madrid, 1980

¿Qué muestran estos ejemplos? Una lectura ingenua podría concluir que el proceso de descubrimiento científico es totalmente casual y fortuito, que a cualquiera se le puede ocurrir una buena idea en cualquier momento. Esto no es así. Ya la gente se bañaba antes de Arquímedes, las manzanas se caían antes de Newton y siempre los hombres han dormitado en las más diversas situaciones, pero estos hechos no han producido conocimientos científicos. Si estos hombres hicieron descubrimientos importantes es porque antes que nada tenían un *problema*, es decir, los tres estaban buscando una explicación a algo que, en mayor o menor medida, les resultaba desconcertante. Tener un problema, haber encontrado algo que requiere de una explicación, ya sea porque hasta ahora no tiene ninguna o porque la que tiene por algún motivo nos resulta insatisfactoria, constituye el punto de partida de la actividad científica. El planteo correcto de un problema es el primer paso en la metodología de la investigación. No se puede investigar sin tener un problema. Arquímedes, Newton y Kekulé tenían cada uno un problema, una cuestión que querían resolver y para ello tensaron al máximo su inteligencia, sus sentidos y hasta su voluntad.

Esta última frase puede parecer demasiado ambigua. ¿Qué quiere decir que un científico tensa al máximo su inteligencia, sus sentidos y hasta su voluntad? El descubrimiento científico se origina en las más diversas fuentes; una vez que un científico tiene un problema formulará *hipótesis tentativas*, es decir, proposiciones que den una explicación gruesa y provisional, revisará *bibliografía*, es decir, leerá teorías relacionadas con su problema, hará uso de la *observación* o de la *experimentación* cuyos resultados robustecerán, afinarán o debilitarán sus hipótesis iniciales. A medida que avance en estas actividades, irá descartando algunas hipótesis y se le irán ocurriendo nuevas, en un proceso psicológicamente muy complejo y que de ser exitoso culminará en una explicación satisfactoria del problema inicialmente planteado.

Pero todavía se puede preguntar: ¿hay algo que pueda favorecer el proceso de descubrimiento del científico? Sí. Facilitarle los medios para que pueda observar y pensar el problema y construir los experimentos necesarios; ésta es la cuestión de los *medios materiales*; por otra parte darle la más absoluta *libertad* y dejarlo en paz. En realidad, si bien se mira, éstas son condiciones deseables, algunos pensarán que hasta necesarias, pero, desde ya, no por sí solas suficientes: su presencia no garantiza que se produzcan descubrimientos relevantes.

En el contexto de descubrimiento, es decir, en lo relativo a la gestación de una teoría científica, *todo vale*. Para llegar a una teoría, un científico puede valerse de la intuición, la imaginación, la observación, el experimento, la inducción, etc. y muy frecuentemente de una combinación de todos esos recursos.

JUSTIFICACIÓN

Pero las explicaciones científicas deben estar justificadas. En efecto, no basta que alguien sostenga una teoría cualquiera aún cuando explique cómo, de qué manera llegó a la misma, sino que es necesario que la justifique para que pueda ser admitida en el cuerpo de doctrina científica, es decir, para que pase a formar parte del sistema de conocimientos a que nos referimos antes. Dicho de otro modo: cualquiera puede sostener la teoría de que la causa de la calvicie es la exposición a los rayos solares o que los volcanes entran en erupción porque se enojan los espíritus o que las plantas se marchitan si se las riega en momentos en que están expuestas a la luz del sol los días de mucho calor. Cómo haya llegado alguien a estas teorías, si por intuición o por inducción o por lo que fuera, nos tiene sin cuidado. Lo que interesa ahora es cómo se las justifica. Y con esto pasamos al *contexto de justificación*.

Para que una teoría pueda ser aceptada debe llenar tres requisitos fundamentales. En primer lugar cumplir ciertas condiciones formales referidas a la lógica y al lenguaje en que está formulada: un lenguaje claro y preciso, con términos definidos en la teoría o tomados de otras teorías explícitamente señaladas y una estructuración lógica de sus proposiciones. En segundo lugar, debe ser posible deducir de la misma, enunciados o proposiciones singulares que puedan ser confrontadas con los hechos. En tercer lugar la teoría debe aprobar esta confrontación, es decir, las proposiciones singulares deben, al ser confrontadas con los hechos, resultar verdaderas.

Muchas pretendidas teorías no satisfacen el primer requisito, pues están construidas con un vocabulario absolutamente impreciso, utilizable en la conversación, como “mucho calor”, pero inadmisibles en ciencia. Otras “teorías”, como la que atribuye las erupciones volcánicas al enojo de los espíritus, suponiendo que contienen definiciones que aclaran los términos vagos, violan el segundo requisito que dice que una teoría debe tener consecuencias observacionales, es decir, de la misma deben poder deducirse enunciados singulares capaces de ser confrontados con los hechos, y en este caso, nada se puede deducir de la misma que pueda ser sometido a prueba. Supongamos ahora que alguien sostiene la teoría de que la causa de la calvicie en los hombres mayores de cincuenta años reside en exponerse a baños de sol que superan como promedio la media hora diaria. Supongamos que se hayan aclarado los términos “causa”, “calvicie” y “baños de sol”. De la misma se sigue por vía puramente deductiva que “Si el individuo A es calvo y tiene más de cincuenta años entonces toma baños de sol de más de media hora diaria promedio y si el individuo B es calvo y tiene más de cincuenta años entonces toma baños de sol de más de media hora diaria promedio y que el individuo C... “ Como esta proposición es una conjunción continua de enunciados singulares, bastará encontrar un enunciado singular falso para que sea falsa en su conjunto, es decir, bastará encontrar un individuo que sea calvo, tenga más de cincuenta años y no tome baños de sol por más de media hora diaria promedio, para que sea falsa toda la proposición singular. Pero, a su vez, si una deducción es correcta y la conclusión es falsa, entonces, la premisa, o por lo menos, una de las premisas si hay más, es falsa. En nuestro caso la teoría de la calvicie, a pesar de que satisface el primero y el segundo requisitos, no satisface el tercero, es decir, los hechos no coinciden con lo que dice la teoría que debería suceder. Las deducciones de una teoría constituyen predicciones, es

decir, algo que es dable esperar que suceda según la teoría; a través de las mismas, las teorías arriesgan ser refutadas y de hecho lo son muchas veces.

Llegamos ahora a una cuestión sumamente interesante. Si uno, al menos, de los enunciados singulares que se deducen de una teoría es falso, la teoría es falsa, pues según lo estudiado en lógica, si un razonamiento deductivo es válido y su conclusión es falsa, una de las premisas por lo menos, debe ser falsa. Pero el hecho de que todos los enunciados singulares que se hayan deducido de una teoría sean verdaderos, no garantiza que la teoría sea verdadera ya que, según la lógica, hay razonamientos válidos con conclusión verdadera y premisas falsas. En consecuencia no hay razones que avalen la verdad absoluta o definitiva de una teoría. Las teorías que no han podido ser refutadas, a través de varios intentos, se dice que han sido *corroboradas*, esto es confirmadas provisionalmente. Pero, las teorías científicas son siempre *hipotéticas*, constituyen explicaciones de los hechos que se aceptan mientras los hechos no las refuten, es decir, mientras los hechos no las contradigan. Pero cualquier teoría científica está expuesta, justamente si es una teoría científica, a entrar en contradicción con los hechos.

Todavía hace falta aclarar algo más. Si bien es más fácil refutar una teoría que establecer su verdad, tampoco lo primero es sencillo. ¿Por qué? Porque si de una teoría se desprende algún enunciado que al ser confrontado con los hechos resulta falso, esto indica que en la teoría hay al menos una proposición falsa. Pero puede también suceder que la falseada, o sea, el error en la elaboración teórica, no resida en la teoría que se está analizando, sino en una teoría más básica o fundamental de la cual depende la que se analiza. Por último, al someter a prueba una teoría suele hacerse uso de hipótesis auxiliares que se dan por supuesto en el proceso de prueba y el error puede hallarse en estas hipótesis auxiliares.

En resumen, según el método hipotético-deductivo, la actividad científica consiste en formular teorías o conjeturas que nunca pierden su carácter hipotético y en deducir de ellas consecuencias observacionales que puedan ser confrontadas con los hechos. De esta confrontación surgirá o bien la refutación de la teoría o bien la corroboración o confirmación provisional de la misma.

CONSIGNAS DE TRABAJO

Señala en el siguiente texto:

- ✓ cuál es el hecho por explicar
- ✓ qué hipótesis se propone para explicarlo
- ✓ qué consecuencias observacionales se siguen de la hipótesis
- ✓ cómo se contrastan las consecuencias observacionales con los hechos
- ✓ qué hipótesis se admite como un supuesto al efectuar la contrastación
- ✓ indica si se corrobora o se refuta la hipótesis.

En la época de Galileo, y probablemente mucho antes, se sabía que una bomba aspirante que extrae agua de un pozo por medio de un pistón que se puede hacer subir por el tubo de la bomba, no puede elevar el agua arriba de 34 pies por encima de la superficie del pozo. Galileo se sentía intrigado por esta limitación y sugirió una explicación, que resultó, sin embargo, equivocada. Después de la muerte de Galileo, su discípulo Torricelli propuso una nueva respuesta. Argüía que la tierra está rodeada por un mar de aire, que, por razón de su peso, ejerce presión sobre la superficie de aquella, y que esta presión ejercida sobre la superficie del pozo obliga al agua a ascender por el tubo de la bomba cuando hacemos subir al pistón. La altura máxima de 34 pies de la columna de agua expresa simplemente la presión total de la atmósfera sobre la superficie del pozo.

Evidentemente, es imposible determinar, por inspección y observación directa, si esta explicación es correcta, y Torricelli la sometió a contrastación por procedimientos indirectos. Su argumentación fue la siguiente: si la conjetura es verdadera, entonces la presión de la atmósfera sería capaz también de sostener una columna de mercurio proporcionalmente más corta; además, puesto que la gravedad específica del mercurio es aproximadamente 14 veces la del agua, la longitud de la columna de mercurio mediría aproximadamente $34/14$ es decir algo menos de dos pies y medio. Comprobó esta implicación contrastadora por medio de un artefacto ingeniosamente simple, que era, en efecto, el barómetro de mercurio. El pozo de agua se sustituye por un recipiente abierto que contiene mercurio; el tubo de la bomba aspirante se sustituye por un tubo de cristal cerrado por un extremo. El tubo está completamente lleno de mercurio y queda cerrado apretando el pulgar contra el extremo abierto. Se invierte después el tubo, el extremo abierto se sumerge en el mercurio, y se retira el pulgar; la columna de mercurio desciende entonces por el tubo hasta alcanzar una altura de 30 pulgadas: justo como lo había previsto la hipótesis de Torricelli.

Posteriormente, Pascal halló una nueva implicación contrastadora de esta hipótesis. Argumentaba Pascal que si el mercurio del barómetro de Torricelli está contrapesado por la presión del aire sobre el recipiente abierto de mercurio, entonces la longitud de la columna disminuiría con la altitud, puesto que el peso del aire se hace menor. A requerimiento de Pascal, esta implicación fue comprobada por su cuñado, Périer, que midió la longitud de la columna de mercurio al pie del Puy-de-Dôme, montaña de unos 4.800 pies, y luego transportó cuidadosamente el aparato hasta al cima y repitió la medición allí, dejando abajo un barómetro de control supervisado por un ayudante. Périer halló que en la cima de la montaña la columna de mercurio era más de tres pulgadas menor que al pie de aquella, mientras que la longitud de la columna en el barómetro de control no había sufrido cambios a lo largo del día.

*Filosofía de la ciencia natural, C. Hempel, 1966.
Alianza, Madrid, 1980*

LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS Y EL PROGRESO DE LA CIENCIA

De acuerdo con el inductivismo, la ciencia progresa por *acumulación*, ya que constantemente se descubren nuevas leyes. Para el método hipotético-deductivo, la ciencia progresa al refutar teorías y formular otras más exactas y abarcadoras en un movimiento de *infinita aproximación a la verdad*. Thomas Kuhn, epistemólogo contemporáneo, en su obra *La estructura de las revoluciones científicas*, de 1962, sostiene la idea de que en el desarrollo científico se producen revoluciones parecidas a las revoluciones políticas.

De acuerdo con Kuhn, un campo de conocimientos atraviesa inicialmente lo que denomina el estado de *pre-ciencia*, que se caracteriza por la presencia en ese campo de múltiples lenguajes, teorías y metodologías. La salida del estado de *pre-ciencia* se produce cuando se constituye un *paradigma* que pasa a dominar el campo. Un paradigma es una teoría que define un campo, un área de problemas y métodos legítimos, lo suficientemente abarcadora y lo bastante incompleta para dejar muchos problemas para ser resueltos por los científicos. Kuhn considera ejemplos de paradigmas la física de Aristóteles; la astronomía de Tolomeo y su contraria, la de Copérnico, defendida por Galileo; la física de Newton, y la química de Lavoisier, entre otros. Se trata de grandes obras a cuya sombra se realiza lo que Kuhn llama la *ciencia normal*, es decir, la investigación científica que progresivamente va completando el paradigma, al que toma por punto de partida y no se permite cuestionar. Un paradigma puede mantenerse durante siglos sin que surjan *anomalías*, es decir, sin que se observen o descubran hechos que contradigan las afirmaciones fundamentales del paradigma. Cuando aparecen anomalías, la reacción inicial de la *comunidad científica*, es decir, de los científicos que educados en cierto paradigma realizan la ciencia normal, es tratar de negar la existencia de las anomalías, para ello pueden impugnarse las observaciones o las mediciones o los instrumentos, etc. También puede intentar corregirse el paradigma para que dé razón de las anomalías. Pero si las anomalías se acumulan, se produce una *crisis* de confianza en el paradigma, y una parte de la comunidad científica busca un *nuevo paradigma* alternativo capaz de dar razón de las anomalías observadas. Si se encuentra un nuevo paradigma, se producirá una *revolución científica*, es decir, una suerte de rebelión contra el paradigma anterior que lo declara inválido y caduco. El nuevo paradigma será aceptado por una parte de la comunidad, pero, seguramente, rechazado por otro sector. Kuhn sostiene que la adhesión a uno y otro paradigma en disputa no puede decidirse acudiendo a una instancia que esté por encima de los paradigmas, ni por medios o procedimientos “científicos”, pues éstos mismos están en disputa. La adhesión a un paradigma u otro es más bien una cuestión emocional que lógica. Todo esto le hace destacar a Kuhn la semejanza entre las revoluciones científicas y las revoluciones políticas.

Kuhn ha llamado la atención sobre los aspectos sociales de la ciencia, mostrando que en la concreta producción del conocimiento científico juegan un papel importante las comunidades científicas y sus prejuicios y que, aunque la ciencia busca superar los condicionamientos ideológicos, no siempre lo logra. Por otra parte, la posición de Kuhn ilustra algunos aspectos de la historia de la ciencia, pero no llega a plantear una alternativa metodológica a la posición de Popper, razón por la cual ambas posiciones no son totalmente incompatibles.

Otros autores, como Paul Feyerabend, en obras como *Tratado contra el método* y *Adiós a la razón*, han ido más lejos que Kuhn en el cuestionamiento de las comunidades científicas a las que consideran como grupos de presión política e interesadas, tras la bandera de la importancia de la ciencia, en defender sus propios privilegios.

Pasajes principales de la discusión entre Galileo y los doctores de la universidad que, en presencia del Gran Duque de Florencia, a principios del siglo XVII, cuestionan los descubrimientos de Galileo, según la imaginara el dramaturgo alemán Bertolt Brecht.

GALILEO. - ... desde hace algún tiempo los astrónomos estamos encontrando grandes dificultades en nuestros cálculos. Utilizamos para ellos un sistema muy antiguo, que si bien parece concordar con la filosofía, no es compatible con los hechos. Según este sistema, llamado de Ptolomeo, los astros realizan movimientos complicadísimos. Y por eso no los encontramos donde supuestamente deberían estar. Por lo demás, el sistema de Ptolomeo no explica los movimientos de todos los astros. Por ejemplo, el de unos muy pequeños que giran alrededor de Júpiter y que descubrí hace poco. (...)

EL FILÓSOFO. – Antes de hacer uso de su famoso anteojo, querríamos tener el placer de una discusión filosófica con usted. El tema sería: ¿pueden existir esos astros?

GALILEO. – Yo diría que basta con mirar por el telescopio para convencerse de que existen.

EL MATEMÁTICO. – Por supuesto, por supuesto... Pero usted sabe, sin duda, que según la opinión de los antiguos no pueden existir astros que giren alrededor de otro centro que no sea la Tierra, ni tampoco astros que no tengan su correspondiente apoyo en el cielo.

GALILEO. – Sí, lo sé, pero...

EL FILÓSOFO. – Al margen de la existencia de esos nuevos astros, que mi distinguido colega parece poner en duda, yo quisiera con toda humildad, formular la siguiente pregunta: esos astros, ¿son necesarios? (...)

GALILEO. - ¿Y si Su Alteza comprobara en este mismo momento, por medio del anteojo, la existencia de esos astros tan imposibles como innecesarios?

EL MATEMÁTICO. – Se podría argumentar, como respuesta, que si su anteojo muestra algo que no existe, no resulta un instrumento muy digno de confianza, ¿no le parece?

GALILEO. - ¿Qué quiere decir con eso?

EL MATEMÁTICO. – Sería mucho más provechoso, señor Galilei, que nos explicara las razones que lo llevaron a suponer que existen esos astros.

EL FILÓSOFO. – Sí, las razones, señor Galilei, las razones.

GALILEO. - ¿Qué importan las razones si con una mirada a los astros mismos, y mis notas, el fenómeno queda perfectamente demostrado? ¡Señores, esta discusión es absurda!

EL MATEMÁTICO. – Si supiéramos con seguridad que no se va a irritar aun más de lo que está, podríamos agregar que lo que muestra su antejo y lo que muestra el cielo bien pueden ser dos cosas completamente distintas. (...)

EL FILÓSOFO. – Alteza, mi distinguido colega y yo nos apoyamos nada menos que en la autoridad del divino Aristóteles.

GALILEO. – La fe en la autoridad de Aristóteles es una cosa; los hechos que se pueden tocar con la mano son otra cosa. Señores, les ruego, con todas humildad, que confíen en sus propios ojos.

EL MATEMÁTICO. – Mi estimado Galilei, yo tengo la costumbre –que a usted seguramente le parecerá anticuada- de leer a Aristóteles, y le aseguro que en ese caso sí confío en mis propios ojos.

GALILEO. - ¡Pero Aristóteles no tenía telescopio!

EL MATEMÁTICO. – Ni falta que le hacía...

EL FILÓSOFO. – Si lo que aquí se pretende es enlodar a Aristóteles, cuya autoridad ha sido reconocida no sólo por todas las ciencias de la antigüedad sino también por los Santos Padres de la Iglesia, debo decir que me parece inútil continuar con esta discusión.

GALILEO. - ¡La verdad es hija del tiempo, no de la autoridad! Nuestra ignorancia es infinita; ¿por qué no tratamos de reducirla aunque sea en un milímetro? ¿Por qué, en lugar de querer parecer tan sabios, no tratamos de ser un poco menos ignorantes?

EL TEÓLOGO. – Alteza, yo me pregunto simplemente adónde nos conduce todo esto.

GALILEO. – Y yo me inclinaría a pensar que a los hombres de ciencia como nosotros no nos corresponde preguntarnos adónde puede conducirnos la verdad.

EL FILÓSOFO. - ¡Señor Galilei, la verdad puede llevar a los peores extremos!

GALILEO. – Alteza, esta noche cientos de telescopios como éste apuntan hacia el cielo desde toda Italia. Los nuevos astros no abaratan la leche, es cierto, pero nunca habían sido vistos antes y, sin embargo, existían. De este hecho, el hombre de la calle deduce que seguramente hay muchas otras cosas que podría ver con sólo abrir un poco los ojos. Y a ese hombre le debemos una explicación. No son los movimientos de algunos lejanos astros los que hoy hacen hablar a toda Italia, sino la noticia de que doctrinas que hasta ahora se consideraban incommovibles han comenzado a resquebrajarse. (...)

Galileo Galilei, B. Brecht, 1955
Bs. As. Teatro Municipal Gral. San Martín, 1984.

CONSIGNAS DE TRABAJO

1. Analizar la discusión desde los conceptos de Popper y el método hipotético-deductivo
2. Analizar la discusión desde los conceptos de Kuhn y su idea de los paradigmas.