

Cuatro problemas de método científico-experimental que reclaman la apertura a la inteligencia meta-metódica

Gonzalo Génova Fuster

Universidad Carlos III de Madrid

María del Rosario González Martín

Universidad Complutense de Madrid

1. Introducción

Henri Poincaré escribió al comienzo del siglo XX acerca del método científico-experimental: «El hombre de ciencia debe trabajar con método. La ciencia se construye a partir de hechos, de la misma forma que una casa se construye con piedras; pero una acumulación de hechos no es una ciencia, lo mismo que un montón de piedras no es una casa»¹. El método científico no está completo con la recopilación sistemática de datos: requiere una *explicación racional* de las relaciones entre ellos. En otras palabras, los ingredientes esenciales del método científico son la descripción de fenómenos (qué ocurre, cómo ocurre) y la explicación de sus relaciones (por qué ocurre): «El Qué y el Cómo describen, sólo el Porqué explica»².

Michael Polanyi, otro científico-filósofo, afirmaba que el método científico no es una receta que pueda producir verdades mecánicamente³: explicar las relaciones entre fenómenos observados requiere inteligencia, imaginación y creatividad. La visión empiricista de la ciencia, ingenua pero bastante extendida, olvida que *los hechos observados no son independientes de la teoría*⁴: por el contrario, realizar observaciones válidas requiere una buena dosis de conocimientos previos y de interpretación humana.

Nuestro propósito en esta Comunicación es mostrar, a partir de la exposición de cuatro conocidos problemas del método científico-experimental, que la ciencia no puede encerrarse dentro de la aplicación de un «método», por muy riguroso que éste sea. No existe un método universal en la ciencia. Cada rama de la ciencia necesita su propio método, y elegir el método más adecuado es una tarea que está más allá de cualquier método formal o empírico: es una tarea meta-metódica.

2. El papel de las matemáticas

El método científico descrito por Francis Bacon en los albores de la revolución científica pretendía descubrir la causa de un determinado fenómeno mediante la observación de regularidades que lo vinculasen a otros fenómenos. Aun así era todavía un método fundamentalmente cualitativo. Galileo Galilei fue el primero que dio el paso de dar forma de leyes matemáticas a las regularidades observadas (otros científicos coetáneos comparten este mérito, especialmente Johannes Kepler con su formulación de las leyes del movimiento planetario). Galileo estaba íntimamente convencido de que las leyes del universo están «escritas con caracteres matemáticos» (*El ensayador*, 1623). Galileo, Kepler y otros como ellos creían que el universo tiene una estructura racional subyacente que está al alcance del entendimiento humano.

Así pues, el comienzo de la revolución científica está marcado por la creación de modelos matemáticos que formalizan los fenómenos observados en forma de variables medibles, enlazadas unas con otras. Desde entonces la construcción de modelos unificadores ha sido una constante en la ciencia. Establecer leyes matemáticas de comportamiento da la posibilidad de hacer predicciones exactas, paradigmáticamente de-

mostrado con los muchos descubrimientos en el campo de la astronomía. La confirmación de las predicciones prueba la validez de la teoría, y una vez que ésta ha sido bien establecida, la teoría da la posibilidad de hacer nuevas predicciones en las que podemos confiar. De esta manera, las teorías matemáticas ponen el fundamento de la ingeniería de todo tipo de artefactos de comportamiento predecible, diseñados para el bienestar humano.

Pero las matemáticas *no son una disciplina experimental* en sí mismas. Las matemáticas se fundamentan en axiomas y pura razón, y sus resultados no requieren verificación experimental para ser válidos. El hecho de que los conceptos matemáticos sean *aplicables a fenómenos físicos*, incluso más allá del contexto donde fueron originalmente desarrollados, ha sido siempre motivo de perplejidad. El Premio Nobel Eugen Wigner ponía como ejemplo la ley matemática de la gravitación, originalmente concebida para modelar la caída de los graves en la superficie de la tierra, pero luego utilizada también para describir el movimiento de los planetas, demostrándose exacta más allá de las expectativas razonables⁵. Wigner analizaba las «milagrosas» conexiones entre matemáticas y física, concluyendo que «en esencia, no sabemos por qué nuestras teorías funcionan tan bien». Hillary Putnam explicaba este «milagro» como una consecuencia necesaria de una filosofía realista de las matemáticas⁶. Richard Hamming, uno de los fundadores de la ciencia de la computación galardonado con el Turing Award, trató de explicar esta «irrazonable efectividad» de varias formas⁷: que las matemáticas han sido creadas precisamente para ajustarse a la realidad observada, que la evolución biológica ha primado el pensamiento matemático en los humanos, etc. Pero el mismo Hamming concluía que sus propias explicaciones eran insatisfactorias. El debate continúa muy vivo hoy día⁸.

3. Regularidad y causalidad

El énfasis en la construcción de modelos matemáticos de comportamiento predecible deja abierta la siguiente cuestión: ¿es posible alcanzar las causas de los fenómenos a través de las regularidades estadísticas? Es bien conocido en el método científico que el mero establecimiento de una regularidad es insuficiente para determinar que un fenómeno es la *causa* de otro fenómeno⁹. Aunque una ley matemática sea suficiente para hacer predicciones, un investigador serio no se quedará satisfecho con la formulación de una «ley empírica», mera destilación de los resultados de observaciones repetidas, que carezca de un modelo teórico subyacente. En este sentido, el método baconiano (descubrir las causas por coincidencia, diferencia y variación concomitante) es una simplificación excesiva de la investigación científica.

Ante todo, es necesario distinguir entre conjunción accidental y verdadera correlación estadística de fenómenos. Una conjunción accidental es la ocurrencia simultánea de dos sucesos, sin otra relación entre ellos aparte de la coincidencia temporal. Por ejemplo, abro la puerta de mi casa y empieza a llover. Para encontrar auténticas correlaciones entre variables son esenciales los experimentos bien diseñados y el uso adecuado de herramientas estadísticas. Así pues, el primer paso es incrementar el tamaño de la muestra de sucesos: abro la puerta principal muchas veces y en diferentes situaciones, y encuentro que no hay correlación entre los *tipos de sucesos* «abrir la puerta principal» y «empezar a llover» (¡sería extraordinario encontrar una fuerte correlación en este caso, y sin duda requeriría investigación adicional!).

Ahora bien, aun si se descubre que existe una verdadera correlación, inferir de ella una relación causa-efecto sería una conclusión prematura¹⁰. En otras palabras, *correlación no im-*

plica causación. La creencia opuesta, que la correlación demuestra la causación, es la conocida falacia lógica «cum hoc ergo propter hoc» (con esto, por tanto a causa de esto). Una falacia similar es «post hoc ergo propter hoc» (después de esto, por tanto a causa de esto), aún más tentadora porque la secuencia temporal parece ser un elemento integral de la relación causal. En general, la correlación entre dos variables A y B puede ser explicada de diferentes maneras: A causa B, B causa A (causación inversa), algún otro factor desconocido C en realidad causa A y B (relación espúrea), o incluso una combinación de las anteriores (tal como ocurre en sistemas retroalimentados con relaciones causales bidireccionales).

Consideremos el canto del gallo (CG) y la salida del sol (SS). Una conclusión ingenua, aparentemente sustentada en la secuencia temporal, es que CG causa SS. Pero un cuidadoso análisis de la correlación y el uso de experimentos contrafácticos lleva fácilmente a la conclusión de que la variable independiente es SS y la dependiente es CG: el sol sale de todas formas, el gallo canta cuando el amanecer está próximo. Así pues, podemos concluir con certeza que la salida del sol *causa* el canto del gallo.

Pero, ¿podemos? Incluso una verdadera correlación no es suficiente para establecer una relación causal. El método científico requiere algún tipo de explicación adicional, *una explicación racional enraizada en un modelo teórico que unifique conceptos y observaciones*. Algo así como «la salida del sol incrementa la intensidad de la luz, esto despierta al gallo, que entonces canta». Esta comprensión profunda de la relación causal está más allá de los resultados de las matemáticas, más allá de la pura correlación estadística. Lo que el método científico afirma es que la correlación es una condición necesaria, pero no suficiente, para la causación. Ciertamente, la correlación sugiere la causación, e ignorarla sería poco inteligente,

pero la correlación en sí misma no es suficiente. Por el contrario, una explicación científica es una explicación causal que exige razonar más allá de la pura regularidad matemática.

David Hume dio un paso decisivo en la crítica de la idea de causalidad en su *Investigación sobre el entendimiento humano* (1748), conforme a su postulado de que *conocemos* sólo lo que *percibimos*. Según Hume, la causalidad es una pura asociación mental entre sucesos que aparecen invariablemente unidos, que no puede ser inferida de la experiencia. La mera conjunción invariable de sucesos no basta para inferir la causalidad, que es una pura asociación mental. La conexión causal está en nuestras mentes, y no podemos decir *a partir de la experiencia* si realmente existe. En pocas palabras, la causalidad está más allá de la experiencia, sólo la correlación puede ser realmente percibida (es decir, conocida).

Hume influyó decisivamente en Immanuel Kant, que desarrolló la crítica a la causalidad y a la metafísica en general. La influencia de ambos en la moderna filosofía de la ciencia es incuestionable. En cierto sentido, puede decirse que la idea metafísica de causalidad (la que está más allá de la experiencia física, como denota la palabra «metafísica») ha sido abandonada en la ciencia moderna. Incluso los modelos teóricos que «explican» las conexiones entre fenómenos observados parecen contentarse con explicaciones puramente mecánicas basadas en elaborados sistemas de correlaciones entre variables. En algunos campos de la ciencia experimental, especialmente en física, la causalidad apenas es mencionada. No obstante, a pesar de lo que dijeran Hume y Kant, la mayoría de los científicos no filósofos aceptarán que conocer la causalidad (al menos en el débil sentido no metafísico) está al alcance de la razón humana, y manejan habitualmente este concepto en sus investigaciones.

4. *El origen de las hipótesis*

La búsqueda científica de relaciones causa-efecto, o al menos de verdaderas correlaciones, comienza con la formulación de hipótesis. Una hipótesis es un hecho o teoría que, si fuera verdadero, explicaría el fenómeno observado. Según el método hipotético-deductivo, la hipótesis debe ser confirmada o refutada por los experimentos. De hecho, los experimentos específicamente diseñados para refutar una hipótesis dada tienen un gran valor en la ciencia: si tienen éxito en su refutación, entonces la hipótesis es descartada; si fallan, entonces proporcionan una confirmación de la hipótesis. Ahora bien, ¿de dónde vienen las hipótesis? ¿Hay alguna lógica en su origen?

La respuesta habitual, obviamente demasiado simple, es que las hipótesis científicas son fruto del proceso de inducción. Pero si la inducción es el proceso de formular reglas generales sobre la base de casos particulares, entonces *la inducción no puede proporcionar una explicación causal que vaya más allá de la pura generalización*. La causa no es simplemente una generalización de los efectos, por tanto inferir la causa a partir de los efectos no puede ser el resultado de la inducción¹¹. A partir del hecho de que el gallo cantó hoy al amanecer, y también ayer, y anteayer... la inducción (o generalización) puede concluir que «el gallo canta todos los días al amanecer», pero esto no es de ninguna manera una explicación causal. De hecho, no es una explicación en absoluto, es una mera «regularización»: hacer que las ocurrencias individuales sean instancias de una regla general. La explicación de que «el gallo canta *porque* lo despierta la creciente intensidad de luz producida por la salida del sol» es un tipo muy diferente de explicación, que va mucho más allá de la mera generalización de los fenómenos observados. Es una explicación que relaciona causalmente dos tipos diferentes de sucesos. «Mediante la in-

ducción, concluimos que hechos similares a los hechos observados son verdaderos en casos no examinados. Mediante la hipótesis, concluimos la existencia de un hecho muy diferente de todo lo observado, del cual, según las leyes conocidas, resultaría necesariamente algo observado. El primero es un razonamiento de los particulares a la ley general; el segundo, del efecto a la causa. El primero clasifica, el segundo explica»¹².

La filosofía occidental, enraizada en la lógica aristotélica, ha considerado tradicionalmente que hay dos modos básicos de razonamiento: la *deducción* es un tipo de argumento en el que la conclusión se deriva necesariamente de las premisas; la *inducción*, en cambio, extrae conclusiones generales pero no necesarias a partir de una colección finita de observaciones específicas. No obstante, lo cierto es que Aristóteles reconoce en su *Organon* un tercer tipo de argumento que denomina «razonamiento hacia atrás», diferente de la inducción. Inducción y razonamiento hacia atrás fueron confundidos a lo largo de los siglos hasta que el filósofo Charles S. Peirce recuperó la distinción para la lógica moderna¹³. Peirce denominó al razonamiento hacia atrás *abducción* o retroducción: es el proceso lógico mediante el cual se engendran las nuevas ideas, las hipótesis explicativas y las teorías científicas.

Las principales corrientes de la moderna filosofía de la ciencia, siguiendo a Karl R. Popper, han ignorado el problema lógico del origen de las hipótesis¹⁴. El método científico comienza una vez que tenemos una hipótesis a mano para ser comprobada por los experimentos, pero el origen de las nuevas ideas no es una cuestión que pueda ser explicada en términos lógicos¹⁵. El acto de concebir o inventar una nueva teoría es una especie de conjetura ciega, fruto de la casualidad o de la intuición. Desde este punto de vista, el descubrimiento de nuevas ideas sólo puede estudiarse desde una perspectiva histórica, psicológica o sociológica, pero no es importante para

la descripción racional del conocimiento científico. Las nuevas ideas están ahí, y eso es todo lo que importa.

Por el contrario, según Peirce el razonamiento abductivo proporciona una *explicación probable* de los hechos que requieren ser esclarecidos, así pues es una operación lógica de la mente, no una mera conjetura ciega¹⁶. Por supuesto, la abducción (al igual que la inducción) no es un tipo de argumento que produzca conclusiones necesarias: es falible, incluso extremadamente falible. No es una intuición directa de las leyes de la naturaleza (como le gustaría al racionalismo de corte cartesiano); es falible, pero racional. En su búsqueda de una hipótesis explicativa, la abducción es deliberada y crítica, es decir, tiene las características del pensamiento racional¹⁷. Peirce entiende la lógica como «teoría del razonamiento humano», más amplia que la pura lógica formal. Así pues, Peirce considera que la lógica tiene que estudiar no sólo los argumentos formalizables (las deducciones necesarias), sino también otros argumentos que son esenciales para la razón humana y el progreso en el conocimiento (las inducciones y abducciones falibles).

Estos tres distintos tipos de razonamiento se integran en la descripción peirceana del método científico: la abducción inventa o propone una hipótesis explicativa de los hechos observados; a partir de la hipótesis la deducción predice las consecuencias experimentables que se deberían observar; la inducción consiste en el proceso de verificar la hipótesis por medio de la experimentación, es decir, la observación de casos particulares que se ajustan a la ley general hipotética y así la confirman¹⁸. En este sentido, *la inducción no proporciona nuevas ideas*, simplemente corrobora o refuta la conjetura abductiva. La generación de nuevas ideas por vía de hipótesis o conjetura corresponde exclusivamente a la abducción¹⁹. Incluso la generalización inductiva requiere algún tipo de abducción previa, tal vez inconsciente: cuando el científico se concentra

en un determinado conjunto de hechos en busca de una ley general, ya ha hecho algún tipo de conjetura acerca del tipo de fenómeno que es susceptible de generalización. Al tratar de formular las leyes del movimiento, Galileo y Newton descartaron de entrada cualidades tales como el color, el olor o la procedencia de los cuerpos en movimiento: en una forma no completamente especificada, sólo consideraron relevante la masa, lo cual es ya un tipo de abducción. Tal vez podrían haber considerado abductivamente también la composición material de los cuerpos (madera, plomo, piedra, etc.), para posteriormente descartarla por inducción a partir de los experimentos.

Por tanto, la enumeración de fenómenos desvela el papel crucial de la abducción como paso preparatorio para la inducción. ¿Qué es lo que se enumera? ¿Por qué esta enumeración y no otra? Para enumerar algo es preciso saber ya *de alguna manera* qué es aquello que se quiere enumerar. Para enumerar casos particulares es necesario conocer previamente, aunque sea de forma vaga y sin matices, el concepto general que debería obtenerse por inducción a partir de esos casos particulares. Y esto es precisamente lo que hace la abducción: proporcionar por vía de hipótesis o conjetura la pista hacia el concepto general que debe seguir el científico para identificar los datos singulares y enumerarlos. La inducción por enumeración no es suficiente para explicar la formación de conceptos generales, ya que la enumeración de los fenómenos relevantes requiere una abducción previa para decidir cuáles son los fenómenos relevantes²⁰.

5. La fuerza y la debilidad de la inducción

El empiricismo radical defiende la idea de que un trabajo sólo merece ser calificado como «científico» si está sustentado

en «evidencias empíricas». Esta tesis es ciertamente muy fácil de criticar: la idea de que «sólo las proposiciones que se obtienen de la experiencia son científicas, y por tanto aceptables como verdaderas», no se sostiene ella misma en ningún tipo de evidencia empírica. Así pues, el empiricismo radical debe ser rechazado como contradictorio consigo mismo. Sin negar el papel extraordinariamente importante que la evidencia empírica tiene en la ciencia, es necesario mostrar los límites de la inducción como forma de obtener conocimiento a partir de la experiencia.

El gran problema de la inducción es si verdaderamente tiene fundamento racional, ya que la mera repetición de experiencias particulares no permite dar el salto a la ley general, como repetidamente han observado los críticos del inductivismo desde tiempos antiguos. En su *Investigación sobre el entendimiento humano* (1748), Hume argumenta por qué es imposible justificar el razonamiento inductivo: ciertamente no puede ser justificado deductivamente, y tampoco puede serlo inductivamente (a partir del éxito de la inducción en el pasado), puesto que se trataría de una justificación circular. No obstante, continúa Hume, practicamos la inducción y nos beneficiamos de ella. No tiene justificación racional, pero está enraizada en hábitos instintivos; no es fiable, pero tenemos que fiarnos de ella.

Dos posturas filosóficas han tratado principalmente con el problema de la inducción a lo largo del siglo XX: Verificacionismo y Falsacionismo. A pesar de los críticos, el *verificacionismo* sostiene una tesis optimista: la inducción es posible. Este optimismo es la base de la actitud más generalizada entre los científicos, que les lleva precisamente a buscar la confirmación de sus teorías en la experiencia. El verificacionismo admite *a priori* que las regularidades no pueden ser casuales: debe haber algún tipo de racionalidad en el universo, y la

mente humana es capaz de descubrirla. Bertrand Russell representa la crítica moderna a este punto de vista con su mordaz historia del «pollo inductivo», que tras meses de repetidas experiencias (de lo más regulares, por cierto) llegó a la firme conclusión de que el hombre que lo alimentaba cada mañana en el corral seguiría haciéndolo hasta el fin de los tiempos con todo su cariño...²¹.

El *falsacionismo*, difundido principalmente a partir de los escritos de Karl Popper, considera también de modo pesimista, con los críticos del verificacionismo, que la inducción no es posible²²: la inducción no es parte del método científico, la inferencia basada en muchas observaciones es un mito; no podemos aspirar a comprobar la verdad de ninguna teoría científica; las hipótesis científicas no pasan de ser meras conjeturas que son aceptadas provisionalmente hasta que aparece una nueva experiencia que las refuta (lo que Popper llama «falsación»). Esta postura está impregnada de un aire sanamente escéptico que le ha llevado a obtener un buen crédito entre los científicos. Pero lo cierto es que, llevado hasta sus últimas consecuencias (más allá de donde el mismo Popper lo habría llevado), el falsacionismo resulta una postura absurda: los científicos no se dedican a formular y aceptar provisionalmente *cualquier teoría* para, a continuación, buscar contraejemplos que la refuten. Todo lo contrario, los científicos se esfuerzan tanto o más por verificar que por refutar, y sólo aceptan de entrada hipótesis que sean razonables y con alto poder explicativo²³.

En definitiva, ni el verificacionismo ni el falsacionismo pueden dar cuenta de la realidad de la actividad científica en toda su magnitud, sin remitir a algo que está más allá de la experiencia fáctica. Podemos decir que ambas posturas tienen razón en lo que niegan, pero se equivocan en lo que afirman. El verificacionismo tiene razón al decir que las hipótesis deben

ser verificadas experimentalmente, pero se equivoca al pretender que la inducción a partir de la experiencia puede alcanzar la verdad científica con absoluta certeza. El falsificacionismo tiene razón al decir que la inducción no puede ser justificada formalmente, pero se equivoca al pretender que la ciencia consiste esencialmente en intentar refutar teorías. La realidad de la ciencia es que la inducción es constantemente usada (y requerida por la comunidad científica) para validar las teorías, aunque carezca de justificación formal y sólo produzca resultados «probables». El progreso de la ciencia depende de principios que no surgen sólo de la experiencia formalmente verificada. La limitación de la razón a lo empíricamente verificable es más un obstáculo que una ayuda en el camino de la ciencia.

Ahora bien, dejando aparte el problema filosófico de la justificación formal de la inducción, nos queda todavía el problema práctico de determinar qué cuenta como experimento válido para verificar una determinada teoría. ¿Cuántas pruebas son suficientes? ¿Qué porcentaje de resultados positivos debe requerirse para aceptar una teoría? La ausencia de respuestas *a priori* para estas preguntas implica claramente la imposibilidad de formalizar completamente el método científico. De hecho, la respuesta ha de encontrarse en el carácter «público» y «social» de la ciencia. Esto no quiere decir, ni mucho menos, que la verdad científica se establezca por consenso, sino que los resultados de la investigación deben ser contrastables por los demás: *la ciencia no es un asunto privado*. Los aspectos sociológicos y subjetivos de la ciencia han sido resaltados tras el fracaso de las anteriores descripciones formalísticas de la actividad científica²⁴. Lo que busca el científico es seguir un camino hacia el conocimiento que pueda ser seguido por otros investigadores; la meta es «convencer» a la comunidad científica de la validez de determinados resultados de investigación.

Esto implica que, además de contar con base empírica, los trabajos científicos deben ser presentados con las oportunas explicaciones y con una adecuada interpretación de resultados. Así pues, ¿cuántas pruebas son suficientes? Tantas como razonablemente requiera la comunidad científica...

6. *Conclusión: el papel del razonamiento meta-metódico*

No puede haber actividad científica completa que consista solamente en probar teorías por medio de experimentos: antes de llevar a cabo los experimentos que prueben o refuten la teoría, hay que formular y desarrollar las teorías, y hay que demostrar su poder explicativo, de modo que se justifique la inversión de recursos humanos y materiales en los experimentos, tal vez muy costosos. Es más, la verificación experimental puede decir algo acerca de la *verdad* de una teoría, pero no puede decir nada acerca de su *relevancia*, es decir, su interés para la comunidad científica o la sociedad como un todo.

Los métodos formales proporcionan poderosas herramientas que mejoran enormemente la capacidad deductiva de la razón humana. Una demostración lógica o matemática garantiza con certeza la corrección del resultado, y puede ser comprobada por cualquiera que domine la técnica. Esta publicidad del método es esencial para la ciencia entendida como empresa social. Pero los resultados de los métodos formales son válidos sólo dentro del propio sistema formal, dependen al final de la libre elección de los axiomas. Los métodos formales corren el riesgo de ser correctos, pero irrelevantes: la corrección formal no es la verdad. ¿Cómo podemos asegurar en definitiva que el sistema formal es una buena representación del sistema real, que es útil o aplicable? La *adecuación* al mundo real está simplemente más allá de la capacidad (y del propósito) del método

formal; esta adecuación debe ser juzgada desde fuera del método. Y es bueno que sea así: un método formal dejaría de serlo, perdiendo su fortaleza principal, si intentara responder a la cuestión de su adecuación a la realidad.

Algunos pretenderán que la respuesta la tienen los métodos empíricos, sin los cuales la ciencia moderna es inconcebible. La repetibilidad de los experimentos satisface el requisito de publicidad y, ciertamente, la combinación de métodos formales y empíricos es el sello distintivo de la ciencia moderna: construir modelos teóricos y contrastar sus predicciones con la observación de la realidad. Si bien los métodos empíricos logran un menor grado de certeza que los métodos formales (debido al problema de la inducción), aseguran en cambio la correspondencia entre los modelos teóricos y la realidad. Pero, una vez más, no olvidemos los límites de los métodos empíricos. Ya hemos notado que justificar la razonabilidad de una hipótesis antes de experimentar con ella, juzgar sobre la relación causa-efecto a partir de la correlación estadística, y decidir si un experimento es válido para confirmar una teoría, son todas ellas actividades que están más allá de los métodos empíricos en sí mismos. La evidencia empírica debe ser adecuadamente *interpretada* con buenas razones para poder reconocer lo que un experimento realmente demuestra.

Así pues, ni los métodos formales ni los empíricos pueden proporcionar una explicación completa de la actividad científica. Ésta se sustenta en algo que está más allá de los axiomas y la experiencia fáctica, más allá de las pruebas formales y las estadísticas rigurosas. En otras palabras, los científicos necesitan razonar también fuera del método científico, lo cual se manifiesta especialmente cuando escogen el método más adecuado para un determinado proyecto de investigación, y cuando interpretan los resultados. La evidencia lógica y la evidencia empírica requieren un trabajo de *clarificación y des-*

arrollo conceptual. Este tipo de *razonamiento meta-metódico* no es anecdótico; por el contrario, es la base misma sobre la que se desarrolla el método científico, por muy débil que sea esa base. La razón emplea las poderosas herramientas de los métodos formales y empíricos, pero la razón no puede ser confinada dentro de los límites de ningún método establecido. El razonamiento meta-metódico desempeña de hecho el *papel directivo* en la actividad científica. Los teoremas y experimentos sin la guía del pensamiento cualitativo-especulativo (es decir, meta-metódico) no tienen ningún valor.

En resumen, juzgar la adecuación entre un modelo teórico y la realidad que representa, inferir relaciones causales entre fenómenos observados, proponer hipótesis explicativas razonables, y decidir qué experimentos son necesarios e interpretar sus resultados, son todas ellas actividades esenciales en la ciencia que, sin embargo, no pueden ser encerradas dentro de ningún método establecido. La práctica del método científico exige reconocer (y superar) los propios límites del método; mejorar el método científico es algo que no se puede hacer desde dentro del método mismo. Así pues, reconocer los límites de los métodos formales y empíricos, y abrir la puerta al razonamiento meta-metódico, es una necesidad imperiosa para el progreso de la ciencia.

Ciertamente, estos problemas no son nuevos para la filosofía, pero con demasiada frecuencia son ignorados al explicar o aplicar el método científico con una gran dosis de ingenuidad. El método científico-experimental es así considerado el camino privilegiado, incluso el único camino, para alcanzar el conocimiento de la realidad. La recuperación de la unidad perdida de los saberes requiere que los filósofos ayuden a los científicos a reflexionar a partir de su propia experiencia y con su propio lenguaje, para que reconozcan «desde dentro» los límites de su propio método y sean capaces de abrirse al saber,

también racional, que proviene de las ciencias humanas. A su vez, la ciencia puede aportar una profundización en la realidad que ilumine de un nuevo modo a la filosofía.

Bibliografía

Ayim, M. *Peirce's View of the Roles of Reason and Instinct in Scientific Inquiry*. Anu Prakasan, Meerut, 1982.

Chalmers, A. *What Is This Thing Called Science?* (3rd ed.). Open University Press, Maidenhead, 1999.

Fann, K.T. *Peirce's Theory of Abduction*. Martinus Nijhoff, The Hague, 1970.

Feyerabend, P.K. *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*. New Left Books, London, 1975.

Génova, G. *Charles S. Peirce: La lógica del descubrimiento*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra, Pamplona, 1997.

Génova, G. «Is Computer Science truly scientific? Reflections on the (experimental) scientific method in Computer Science». *Communications of the ACM*, 53(7), 2010, pp. 37-39.

Hamming, R.W. «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics». *The American Mathematical Monthly*, 87(2), 1980, pp. 81-90.

Hanson, N.R. «The Logic of Discovery». *Journal of Philosophy*, 55(25), 1958, pp. 1073-1089.

Holland, P.W. «Statistics and Causal Inference». *Journal of the American Statistical Association*, 81(396), 1986, pp. 945-960.

Kuhn, T.S. *The Structure of Scientific Revolutions* (3rd ed.). University of Chicago Press, Chicago, 1962.

Pearl, J. *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

Peirce, C.S. «On the Natural Classification of Arguments», CP 2.461-516, 1867. In C. Hartshorne, P. Weiss & A.W. Burks (Eds.), *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, vols. 1-8. Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1931-1958.

Peirce, C.S. «Deduction, Induction, Hypothesis», CP 2.619-644, 1877. In C. Hartshorne, P. Weiss & A.W. Burks (Eds.), *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, vols. 1-8. Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1931-1958.

Peirce, C.S. «On the Logic of Drawing History from Ancient Documents Especially from Testimonies», CP 7.164-255, 1901. In C. Hartshorne, P. Weiss & A.W. Burks (Eds.), *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, vols. 1-8. Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1931-1958.

Poincaré, J.H. *Science and Hypothesis*. Dover, New York, 1952. *La science et l'hypothèse*. Flammarion, Paris, 1903.

Polanyi, M. *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*. University of Chicago Press, Chicago, 1958.

Popper, K.R. *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, London, 1959. *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der Modernen Naturwissenschaft*. Julius Springer, Vienna, 1934.

Popper, K.R. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. Routledge, London, 1963.

Putnam, H. «What is Mathematical Truth?» *Historia Mathematica*, 2(4), 1975, pp. 529-533.

Russell, B.A.W. *Problems of Philosophy*. Oxford University Press, Oxford, 1997. 1st ed. 1912.

Simon, H.A. «Spurious Correlation: A Causal Interpretation». *Journal of the American Statistical Association*, 49(267), 1954, pp. 467-479.

Tegmark, M. «The Mathematical Universe». *Foundations of Physics*, 38(2), 2008, pp. 101-150.

Whetten, D.A. «What Constitutes a Theoretical Contribution?» *Academy of Management Review*, 14(4), 1989, pp. 490-495.

Wigner, E. «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences». *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13(1), 1960, pp. 1-14.

NOTAS

¹ J.H. Poincaré, *Science and Hypothesis*. Dover, New York 1952.

² D.A. Whetten, «What Constitutes a Theoretical Contribution?» *Academy of Management Review*, 14(4), 1989, pp. 490-495.

³ M. Polanyi, *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*. University of Chicago Press, Chicago 1958.

⁴ A. Chalmers, *What Is This Thing Called Science?* (3rd ed.). Open University Press, Maidenhead 1999.

⁵ E. Wigner, «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences». *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13(1), 1960, pp. 1-14.

⁶ H. Putnam, «What is Mathematical Truth?» *Historia Mathematica*, 2(4), 1975, pp. 529-533.

⁷ R.W. Hamming, «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics». *The American Mathematical Monthly*, 87(2), 1980, pp. 81-90.

⁸ M. Tegmark, «The Mathematical Universe». *Foundations of Physics*, 38(2), 2008, pp. 101-150.

⁹ J. Pearl, *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge University Press, Cambridge 2000.

¹⁰ H.A. Simon, «Spurious Correlation: A Causal Interpretation». *Journal of the American Statistical Association*, 49(267), 1954, pp. 467-479. P.W. Holland, «Statistics and Causal Inference». *Journal of the American Statistical Association*, 81(396), 1986, pp. 945-960.

¹¹ G. Génova, *Charles S. Peirce: La lógica del descubrimiento*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra, Pamplona 1997.

¹² C.S. Peirce, «Deduction, Induction, Hypothesis», CP 2. pp. 619-644, 1877. en C. Hartshorne, P. Weiss & A.W. Burks (Eds.), *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, vols. 1-8. Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1931-1958.

¹³ C.S. Peirce, «On the Natural Classification of Arguments», CP 2. 461-516, 1867. en C. Hartshorne et al., *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, citado.

¹⁴ N.R. Hanson, «The Logic of Discovery». *Journal of Philosophy*, 55(25), 1958, pp. 1073-1089.

¹⁵ K.R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, London 1959.

¹⁶ C.S. Peirce, «On the Logic of Drawing History from Ancient Documents Especially from Testimonies», CP 7. pp. 164-255, 1901. en C. Hartshorne et al., *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, citado.

¹⁷ M. Ayim, *Peirce's View of the Roles of Reason and Instinct in Scientific Inquiry*. Anu Prakasan, Meerut 1982.

¹⁸ C.S. Peirce, «On the Logic of Drawing History from Ancient Documents Especially from Testimonies», citado.

¹⁹ K.T. Fann *Peirce's Theory of Abduction*. Martinus Nijhoff, The Hague 1970.

²⁰ G. Génova, *Charles S. Peirce: La lógica del descubrimiento*, citado.

²¹ B.A.W. Russell, *Problems of Philosophy*. Oxford University Press, Oxford 1997.

²² K.R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, citado. K.R. Popper, *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. Routledge, London 1963.

²³ G. Génova, «Is Computer Science truly scientific? Reflections on the (experimental) scientific method in Computer Science». *Communications of the ACM*, 53(7), 2010, pp. 37-39.

²⁴ M. Polanyi, *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*, citado. T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (3rd ed.). University of Chicago Press, Chicago 1962. P.K. Feyerabend, *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*. New Left Books, London 1975.