

# El A B C del método científico

Por Antonio Jesús MOYANO FERREIRA

Resulta curioso que ningún estudiante que curse especialidad científica alguna, ya sea natural o humana, en cualquier facultad, tenga como asignatura "El método científico" o, en su defecto, alguna materia en la que se reflexione acerca de la disciplina cursada. A lo sumo, puede que el futuro miembro de la comunidad lo trate de modo superficial en la asignatura de Filosofía a su paso por el Bachillerato, pero tampoco es seguro, habida cuenta de lo inconmensurable de su temario, que obliga a su responsable a tener que elegir y seguir un itinerario didáctico determinado.

Por eso, tampoco sorprenderá que el único sitio oficial donde se reflexione sobre la actividad del científico, su metodología, el análisis de los paradigmas, etc... se acometa en la Facultad de Filosofía, como tampoco resultará, entonces, extraño que el discurso metalingüístico propio de esta materia sea coto reservado para ellos. De hecho, el mismo científico prefiere dedicar sus energías a la investigación específica, ya sea teórica o aplicada y en absoluto se detendrá a des-ocuparse, utilizando un término orteguiano, de su trato con las cosas para reflexionar sobre su actividad, pues ¿para qué entretenerse con estas disquisiciones etéreas acerca de la naturaleza de su actividad si ésta funciona y su éxito es bien visible en sus aplicaciones tecnológicas? En definitiva, que les importa lo que se dice "un pepino" las famosas reflexiones filosóficas acerca de la Ciencia..

El famoso predicador de los "paradigmas", T. Kuhn, sin embargo, puso el dedo en la yaga al mostrarnos que la toma de conciencia y, en este sentido, la "puesta a punto", ocurre, aunque muy pocas veces, en la historia de la ciencia, concretamente, en los cambios de un paradigma por otro, es decir, en los momentos en los que ocurre una "revolución científica". Entonces, los científicos se convierten en filósofos, y sienten la necesidad de reflexionar sobre el sentido de la misma. Ejemplos tenemos de ilustres científicos que en el siglo pasado sintieron, en momentos determinados, la llamada de la reflexión filosófica: Niels Bohr, Heisenberg, De Broglie, Einstein...

Y, sin embargo, el método propio de la ciencia natural, no exento de presupuestos de carácter filosófico (como la idea de constancia de los fenómenos naturales o la idea, tan fecunda, de que éstos pueden ser descritos matemáticamente) fue determinante en relación a alcanzar su autonomía respecto del "corpus unitario" del saber filosófico, en un proceso originado en el Renacimiento y que ha llegado hasta nuestros días. Desde entonces, los científicos han seguido una serie de pasos "consensuados" por la propia comunidad que le han llevado del problema a la solución del mismo. Evidentemente no se conoce ningún método que proporcione a los científicos una fórmula mágica que les lleve al éxito seguro, pero sí que existe un estilo común de investigar, basado fundamentalmente en la experimentación y en la matematización (método de las ciencias naturales), cuyas etapas, resumidas, son las siguientes:

## **Observación y planteamiento de un problema:**

Un problema científico es, en primer lugar, una pregunta sobre la razón por la que sucede algo, o sobre el modo en que algo "funciona". Evidentemente no toda pregunta debe considerarse científica. En principio, podríamos decir que es aquella pregunta que puede ser abordada con mediante el método experimental, de modo que preguntas del tipo "¿cómo me surge la inspiración en los poetas" no se admitiría como científica. Pero la cuestión no es tan sencilla como parece a simple vista, pues, ¿cómo determinar la accesibilidad de un problema al método experimental?

En general, las preguntas vienen determinadas en buena parte por la investigación científica en orden a comprobar las teorías científicas en vigor, como ejemplo podemos citar el experimento de Michelson-Morley para medir la velocidad de la luz, con el fin de demostrar la existencia del famoso éter de la mecánica clásica), pero no sólo: piénsese en que los costes de ciertos proyectos (como por ejemplo, un acelerador de partículas) sólo puede proceder de recursos públicos o privados, cuya adjudicación responde a intereses sociopolíticos y/o económicos (por ejemplo, el sida sólo pasó a ser un problema científico cuando el virus "saltó" del África Central a Estados Unidos, es decir, cuando comenzó a afectar a la población del país que financia la investigación, y qué decir de las investigaciones farmacológicas...)

## **Hipótesis:**

En esta segunda etapa trataremos de formular alguna hipótesis, es decir, una conjetura que explique dicho fenómeno. Dicho de otro modo, formularemos una explicación provisional acerca de la ley que lo regula. ¿Qué de dónde la sacamos? Básicamente lo fundamental es tener imaginación. Sin la creatividad pocas hipótesis razonables elaboraremos y lo mismo si tenemos que diseñar un experimento.

Las hipótesis cumple, además, un papel, en primer lugar, heurístico, en cuanto permite dirigir el trabajo, es decir, determina qué correlaciones de los fenómenos deben someterse a experimentación. Supongamos que queremos investigar las causas de la subida de las mareas. De todos los fenómenos que podrían actuar como causa, como las corrientes marinas, la inclinación de la costa, la tectónica de placas... ¿Por dónde empezar? Todo dependerá de la hipótesis que manejen.

En segundo lugar, tiene un papel sistemático, en cuanto organiza los hechos observados (siguiendo un símil de Poincaré: "la ciencia se hace con hechos, al modo como una casa se hace con piedras; pero una acumulación de hechos no es una ciencia, como una casa no es una acumulación de piedras...").

Ahora bien, no toda hipótesis es admitida; aunque fruto de la imaginación del científico, la hipótesis debe ser sugerida por los hechos observados: la provisionalidad no debe ser confundida con la arbitrariedad ("Hypotheses non fingo" decía Newton). Era "fingida" la hipótesis que se pensaba en el siglo XIV de que la peste se producía por estar Marte y la Tierra en conjunción.

Por otro lado, la hipótesis debe ser coherente, es decir, no llevar a contradicciones (en la hipótesis anterior se tendría que haber producido la peste siempre que se diera tal conjunción).

Y, en tercer lugar, debe ser posible poder someterla a contrastación o comprobación empírica. La hipótesis aristotélica de que los cuerpos pesados caen hacia el centro de la Tierra –su lugar natural– y los ligeros ascienden hacia arriba, hacia la esfera lunar –su lugar natural–, porque todo cuerpo "tiende" hacia su lugar natural, ya que es imposible verificar experimentalmente tal tendencia.

Por otro lado, la importancia de la verificación experimental es tal que, por ejemplo, la Física, pese a ser una ciencia muy matematizada en la actualidad, no admite de pleno derecho las conclusiones a que se pueda llegar por vía matemática-deductiva si no son validadas en la experiencia (piénsese en el caso, entre otros muchos, del electrón positivo o positrón, cuya existencia fue establecida teóricamente por Dirac en 1930, pero que no fue admitido de pleno derecho hasta que en 1932 fue descubierto experimentalmente en el laboratorio por Anderson).

Por último, la hipótesis debe ser lo más sencilla posible: esto no significa que la hipótesis deba ser sencilla, sino que en igualdad de condiciones entre dos hipótesis se debe seguir la más sencilla. La razón de este requisito radica en un principio llamado "principio de la acción mínima" por Maupertuis en el siglo XVIII y que en el siglo XIV fue mantenido por el filósofo Guillermo de Occam (la famosa "navaja"). Según este principio, la naturaleza obra siempre de acuerdo con la mínima acción, es decir, con el menor gasto de energía, de la manera más sencilla y rápida posible (esto se verifica, por ejemplo, en el fenómeno de refracción de la luz, ya que, de hecho, la luz sigue el camino más corto: la luz actúa con el mínimo de acción!

### **Experimentación:**

En la fase de experimentación, trataremos de reproducir el fenómeno bajo condiciones preparadas de antemano eliminando o introduciendo aquellos factores o variables que puedan influir en él. Esta comprobación experimental de la hipótesis experimental es denominada contrastación.

De hecho, aunque pueda suceder que el fenómeno en su primera contemplación por el científico no haya sido provocado por él, debido a la necesidad de reiterar esta observación para un mayor estudio, siempre que es posible se provoca el fenómeno cuantas veces es necesario. Es decir, no basta con que de la hipótesis se deriven hechos observables, es necesario también que estos hechos puedan ser producidos para garantizar su observación. Y, precisamente porque pueden ser producidos también pueden ser reproducidos o repetidos por los demás miembros de la comunidad científica. Sin entrar en detalles, esta condición, es decir, la repetición de un experimento por cualquier miembro de la comunidad científica ha sido objeto de reflexión por parte de la comunidad filosófica. Porque para que este requisito pueda darse tienen que darse dos supuestos problemáticos: que el fenómeno suceda del mismo modo en momentos distintos y que los observadores lo contemplen de la misma forma en los distintos momentos en que tienen lugar. La respuesta a esta cuestión es que no existen fenómenos repetibles!

Pero ¿porqué exigir basar nuestro conocimiento sólo en experiencias repetibles? La curvatura del espacio, postulada por la teoría de la relatividad de Einstein pudo, de hecho, ser comprobada gracias a un eclipse total de Sol. ¿Podemos provocar esta experiencia? Desde luego que no, y, sin embargo, esta experiencia avaló una teoría. Esto significa que hay fenómenos que son observables pero que, sin embargo, escapan a nuestro control. Este problema condujo al filósofo Alfred Ayer a establecer el criterio de verificación en sentido débil, que recaerá en una repetición que no es posible pero de la cual podemos detallar las condiciones bajo las cuales podemos observarlo, así, en el caso de un eclipse (pero no en el caso, pongamos, de Dios).

De todos modos, ¿respetan los científicos este criterio? Pues parece que tampoco. No lo hacen, por ejemplo, cuando apelan a la experiencia en condiciones ideales, que son aquellas que son imposibles físicamente, si bien imaginables. Un ejemplo claro es esto se puede apreciar en el principio de inercia:

según este principio, un cuerpo permanece en movimiento uniforme y rectilíneo mientras no haya una fuerza que actúe sobre él. Este principio tal vez sea cierto, pero no es posible que se dé la situación que enuncia, porque siempre intervendrá algún tipo de fuerza por mínima que sea. Podemos imaginar un rozamiento cero, pero no es posible diseñar una situación físicamente posible en la que el rozamiento sea nulo. ¿Debemos entonces rechazar el principio de inercia?

Sea como fuere, la importancia de una detallada observación del fenómeno es vital y podemos poner ejemplos de la historia de la ciencia como el de la teoría explicativa de los movimientos de los planetas mediante epiciclos, deferentes y ecuantas, que no hubiera podido mantenerse con una exacta observación del curso de los planetas.

En esta etapa, realizaremos una serie de operaciones, como diseñar y montar experimentos, medir magnitudes y recoger datos. Esto significa que para que la observación del fenómeno sea fecunda debe ser una observación medida, es decir, cuantificada. No basta, por ejemplo, con saber que el primer día el enfermo tenía fiebre, que al segundo subió, que al tercero volvió a subir y que el cuarto empezó a decrecer y siguió decreciendo en el quinto día; es preciso medir la temperatura que tuvo el enfermo cada día de modo cuantificado, numérico, es decir, tantos grados cada día.

Además, la matematización posterior de la hipótesis sólo será posible en el caso de que la observación haya sido cuantificada. Ya lo dijo Galileo: "El que quiera leer en el libro de la Naturaleza tendrá que conocer las matemáticas, ya que dicho libro está escrito en lenguaje matemático." Sin este requisito, la observación es estéril. Ahora bien, el experimento también debe ser reproducible, es decir, debe estar planteado y descrito de tal manera que cualquier otra persona, que disponga del equipo adecuado pueda repetirlo. De otro modo, los resultados de dicho experimento no serán aceptados por la comunidad científica.

#### **Contrastación-Análisis de resultados:**

Una vez que disponemos de una serie de datos, pasaremos a analizarlos para comprobar si nuestra hipótesis explica el fenómeno. Este análisis se realiza mediante tres métodos: la elaboración de tablas de valores, las representaciones gráficas sobre ejes cartesianos, y la deducción de ecuaciones matemáticas sobre los que no nos detendremos. Lo que se pretende es mostrar la verdad o falsedad de la hipótesis investigada o su falsedad.

Una hipótesis es verdadera si se comprueba que los hechos que se derivan de ella se dan en la realidad. La demostración de esta coincidencia se denomina verificación de la hipótesis y responde al siguiente esquema:

<p><i>Si la hipótesis fuese verdadera, entonces pasarían tales cosas. Pasan tales cosas. Por tanto, la hipótesis es verdadera.</i></p>
--

La verificación como fundamento de la verdad de una hipótesis plantea dos tipos de problemas. Por un lado, no permite verificar enunciados que, sin embargo, se consideran científicamente verdaderos, como son los universales y los probabilísticos.

Este problema también es conocido como el problema de la inducción. Supongamos que se desea verificar la hipótesis de que la fuerza de atracción que ejercen entre sí los cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas: ¿con cuántos cuerpos se ha de experimentar para mostrar la verdad de esta hipótesis? Evidentemente con todos, pues al decir «los cuerpos» nos estamos refiriendo a todos. Está claro, no obstante, que no se puede experimentar con todos los cuerpos del universo, no solo porque sean innumerables, sino porque ni los cuerpos del pasado (que ya no están) ni los del futuro (que todavía no están) son accesibles a la experimentación. Sin embargo, la afirmación afecta a todos los cuerpos, no solo a algunos, e incluye más información de la que la experiencia proporciona, lo cual es incorrecto desde un punto de vista estrictamente lógico.

Ahora bien, la ciencia hace afirmaciones universales por dos razones:

Lo que dicen es congruente con la totalidad de nuestra experiencia de la realidad. Se afirma que todos los hombres son mortales porque creemos que tal observación es avalada por la totalidad de la experiencia humana.

Se presupone que el universo que nos rodea es homogéneo, es decir, que se comporta del mismo modo en todas partes.

¿Legitiman estas dos razones que las proposiciones universales vayan más allá de lo que la experiencia proporciona? Desde un punto de vista lógico, la respuesta es negativa.

En cuanto a la problemática de los enunciados probabilísticos, la comentaremos con un ejemplo: la afirmación «la probabilidad de que, al tirar un dado, salga un 6 es de 1/6» es una ley probabilística. ¿Cómo demostrarla? Tirando el dado. El problema es cuántas veces. El enunciado anterior significa que si lanzamos el dado una serie infinita de veces, el 6 saldrá en un 1/6 de ocasiones. Pero no se puede lanzar el dado infinitas veces; luego, es imposible verificar tal afirmación.

Por otro lado, la verificación asume un esquema de argumentación lógicamente incorrecto: La verificación adopta una argumentación que, desde un punto de vista lógico, es incorrecta y que se denomina falacia de la afirmación del consecuente:

*Si A es verdad, entonces sucederá B.  
Sucedo B.  
Por tanto, A es verdad.*

Si analizamos las premisas, veremos que esta conclusión no es válida. La primera premisa es una implicación, que consta de dos partes: el antecedente de la implicación y el consiguiente o consecuente de la implicación. La implicación afirma que siempre que se da A (antecedente), se produce también B (consecuente).

La segunda de las premisas afirma que se ha comprobado (experimentalmente) que se da B. Sin embargo, de ahí no se puede concluir que se da el antecedente A, porque B puede ser la consecuencia de otros antecedentes distintos de A, por ejemplo C, D o E.

Todos estos problemas en torno a la verificación llevaron al filósofo Karl Popper a afirmar que, a través de la contrastación experimental, solo podemos estar seguros de la falsedad de una hipótesis. En efecto, una proposición universal no puede verificarse con un experimento y, por tanto, jamás se puede estar seguro de su verdad; sin embargo, sí que es suficiente un solo experimento para demostrar su falsedad, es decir, para falsarla. La conclusión de esto es que no se puede estar seguro, con certeza lógica absoluta, de la verdad de las hipótesis científicas. La ciencia aparece a los ojos de Popper como una actividad de investigación constante que nos ayuda a acercarnos paulatinamente a la verdad a través de la refutación de hipótesis falsas, pero sin alcanzarla jamás.

Ahora bien, ¿cómo se falsa una hipótesis? Comprobando que los hechos que de la misma se derivan no se dan en la realidad. La constatación de esta no coincidencia es lo que se denomina falsación de la hipótesis, y su esquema de argumentación, que responde a la ley lógica denominada modus tollens:

*Si la hipótesis fuera verdadera, entonces pasarían tales cosas.  
No pasan tales cosas.  
Por tanto, la hipótesis es falsa.*

La falsación presenta dos ventajas: en primer lugar, la argumentación de la falsación es irreprochable desde un punto de vista lógico; en segundo lugar, se puede aplicar a las proposiciones universales: basta con encontrar una excepción para demostrar la falsedad de una afirmación universal referida a todos los casos posibles. Si un científico defendiera, por ejemplo, que ningún mamífero pone huevos —proposición universal referida a todos los mamíferos—, bastaría con llamarle la atención sobre el ornitorrinco para que cayese en la cuenta de la falsedad de su afirmación.

No obstante estas ventajas, la falsación no está libre de problemas filosóficos: no todas las proposiciones científicas que se tienen por verdaderas pueden falsarse, y muchas de las que se falsan se reformulan para preservar su verdad hasta que surja una teoría alternativa.

En la práctica, los científicos no suelen rechazar una ley general que funciona bien en muchos casos tan solo porque falla en alguno. Reformulan sus afirmaciones para que, estableciendo las salvedades o excepciones que la experiencia exige, sigan siendo verdaderas. Así, el científico de nuestro ejemplo anterior, tras descubrir al ornitorrinco, podría sugerir que «ningún mamífero pone huevos a excepción del ornitorrinco». A las hipótesis introducidas para reformular las proposiciones universales que han sido falsadas por una o varias excepciones se las denomina hipótesis ad hoc. Para salvar una teoría universal, se introducen las hipótesis ad hoc que hagan falta mientras no se disponga de una solución más adecuada, recurso que responde a una finalidad práctica pero no a un esquema lógico.

**Ley:**

Las leyes naturales son las que determinan cómo suceden los fenómenos de la naturaleza. La ciencia tiene la pretensión de ofrecer una traducción de estas leyes en términos matemáticos: se trata de las leyes científicas, que se definen como las funciones que establecen una correlación entre las variables relevantes que explican un fenómeno.

La ley de la gravitación universal, por ejemplo, es una ley natural que a la pregunta de por qué caen los cuerpos, responde: por la acción de la fuerza de gravedad, que se rige por la siguiente expresión matemática: donde  $F$  es la fuerza de gravedad;  $G$ , la constante de gravitación;  $m$ , la masa del cuerpo;  $M$ , la masa de la Tierra, y  $r$ , la distancia entre las dos masas.

Como podemos apreciar, en la definición de ley científica intervienen dos importantes conceptos:

- **Función.** Es una relación entre dos conjuntos que asigna a cada elemento del primero un solo elemento del segundo. Efectivamente, en nuestro ejemplo se asigna a  $F$  un valor en función de los valores determinados que adopten  $M$ ,  $m$  y  $r^2$ . Es decir, el valor de  $F$  depende de su relación con  $M$ ,  $m$  y  $r^2$ . Con la función se establece el valor de una variable, que depende de los valores de las otras variables incluidas en la función.
- **Variables relevantes.** Son las que inciden en el fenómeno investigado. ¿Incide en la caída de los cuerpos su color? Evidentemente no, y, por eso, la función que explica la caída de los cuerpos no incluye como variable el color. Es fundamental que en un experimento se puedan controlar las variables para poner de manifiesto aquellas que son relevantes.

¿A qué se debe este afán de matematización? ¿Qué aportan las matemáticas al conocimiento científico? Aportan precisión conceptual, rigor argumental y poder de predicción.

El conocimiento, incluido el científico, es una tarea social, y hoy más que nunca, ya que la cantidad de saber acumulado es tal que un solo individuo no puede abarcarlo. Sin embargo, para llevar a cabo esta tarea colectiva de comprensión de la realidad en que consiste la ciencia, es necesario que los científicos se entiendan entre sí, y para que esto suceda, es imprescindible que el significado de los términos empleados sea lo más preciso posible. Parece claro que decir que «el agua está a 45 °C» es mucho más preciso que afirmar que «el agua está tibia». Las razones de esta mayor precisión son dos:

Cuando se afirma que «el agua está a 45 °C», la temperatura se expresa apelando a un criterio que se puede hacer intersubjetivo<sup>1</sup>, esto es, que puede ser compartido por los demás: en principio, todos podemos observar la subida del mercurio en el termómetro. Sin embargo, el enunciado «el agua está tibia» se refiere a la temperatura del agua mediante un criterio que muy difícilmente se puede compartir o hacer intersubjetivo: ¿cómo garantizar que lo que a mí me parece tibio no resulta para otra persona frío o caliente?

La expresión «el agua está a 45 °C» discrimina mucho más que «el agua está tibia»: la primera especifica que el agua no se encuentra ni a 45,5 °C, ni a 46 °C...; la segunda indica simplemente que no está helada o que no quema, pero poco más.

La precisión en la información aumenta la capacidad de discriminación y, por consiguiente, la capacidad para decidir sobre la verdad o falsedad de otras informaciones. Ahora bien, el conocimiento consiste precisamente en eso: en saber lo que es verdadero y lo que es falso. La precisión, pues, aumenta nuestro conocimiento.

Además, las matemáticas tratan de encontrar pensamientos necesarios, es decir, aquellos que no se pueden pensar de otra manera; por ejemplo, «si  $A$  es mayor que  $B$ , y  $B$  mayor que  $C$ , entonces  $A$  es mayor que  $C$ ». Si somos capaces de expresar nuestro conocimiento mediante el lenguaje matemático, podremos operar con esas expresiones empleando las reglas de deducción matemática y tendremos la certeza de que nuestra argumentación será la más perfecta de las que puedan darse. Dado que para rebatir una argumentación hay que pensarla de manera distinta a como está expuesta, la argumentación científica que emplea la deducción matemática es casi irrefutable, como muestra el ejemplo de la caída de los cuerpos según la teoría de Newton.

Supongamos que desde lo alto de una torre se deja caer un ladrillo. Llamaremos  $t$  al tiempo que tarda en recorrer el trayecto. Volvemos de nuevo a lo alto de la torre y dejamos caer el mismo ladrillo, pero ahora atado a otro igual. ¿Cuánto tardarán en caer estos dos ladrillos? Según la física aristotélica,  $1/2 E$ , es decir, la mitad que uno solo (su masa es el doble).

Sin embargo, Newton, que se sirvió del lenguaje matemático para explicar este mismo fenómeno, llegó a otra conclusión, de hecho la verdadera: la aceleración de los cuerpos cuando caen es independiente de su masa, y cuerpos con masas diferentes caen con la misma aceleración (recorren espacios iguales en idéntico lapso de tiempo).

La utilización del lenguaje matemático permite, por tanto, la predicción de fenómenos. Y esto en un doble sentido:

- Al explicar los fenómenos basándonos en expresiones matemáticas, podemos trabajar con estas empleando los criterios de deducción matemática y encontrar nuevas relaciones entre las variables que al principio desconocíamos, como se ve en el ejemplo de la caída de los cuerpos según Newton.
- Al expresar mediante ecuaciones las relaciones entre distintas variables, podemos predecir los valores desconocidos de unas basándonos en los valores conocidos de las otras.

**Conclusión:**

Creo que ya se ha expuesto lo esencial (dejando para otra ocasión la cuestión de las teorías científicas y Paradigmas); pero ahora me estoy dando cuenta de que quizás no tenga ya sentido hablar de El Método Científico sino de una variedad de métodos, determinada por la riqueza y diversidad de las ciencias que actualmente existen, por no hablar de las Ciencias Sociales y/o Humanas a las que no hemos mencionado aquí y que presentan un carácter específico, que exigiría un capítulo aparte.

De todos modos, ha quedado patente que , como Feyerabend ya advirtió en su momento, las reglas de referencia de la ciencia son violadas constantemente por los propios científicos, así que no cunda el pánico si este "mini compendio" no le sirve a nadie!

**Antonio Jesús MOYANO FERREIRA**  
[arete1964@lycos.es](mailto:arete1964@lycos.es)