

## CIENCIA Y MÉTODO CIENTÍFICO

SILVIA BRAVO\*

*La peor actitud posible para emprender el estudio de la Física es la de un pavoroso respeto. Como muchas empresas venturosas de los humanos, la Física ha progresado en gran parte por atenerse estrictamente a lo suyo. Hay problemas que se prestan a los métodos del físico y su solución para aumentar la experiencia humana material e intelectualmente. Pero el método científico, aunque poderoso en su propio terreno, no es universal ni mágico. Gran parte de lo que el hombre aprecia y considera importante habrá de quedar fuera de su alcance. Si los físicos han conseguido tanto, es por haber sabido limitar sus ambiciones a lo que estaba dentro de sus posibilidades.*

Robert H. March  
(Física para poetas)

Tratar de describir la ciencia y cómo hacerla es como tratar de describir la música y cómo hacerla. Se pueden dar lineamientos generales, se pueden destacar fundamentos básicos, se pueden dar consejos basados en la experiencia, se pueden destacar peligros que dificultan o eliminan la posibilidad de lograrla. Pero no hay una definición precisa de música ni existe un manual que enseñe a ser un Mozart. Al arte como a la ciencia, como a todos los quehaceres creativos de la humanidad, les queda chico cualquier recetario y en eso precisamente radica la importancia de su desarrollo y de su práctica, puesto que de una manera ilimitada representan el ejercicio de la sensibilidad y la inteligencia.

Sin embargo, así como *grosso modo* podemos distinguir la música de un conjunto de ruidos que no lo son, también podemos de alguna manera distinguir lo que es ciencia de lo que no es.

Aunque no es una verdadera definición, podemos pensar a la ciencia como un conjunto de conocimientos ordenados y de reglas de interacción. En efecto, la ciencia parte de la creencia de que el mundo es ordenado,

Instituto de Geofísica, UNAM.

o más bien, de que el mundo puede ser ordenado por un arreglo humano. El conocimiento científico es sistemático, esto es, fundado, ordenado y coherente. Los conocimientos científicos no son aislados; la ciencia no es un conjunto de conocimientos independientes sino que están interrelacionados entre sí. El conocimiento científico es general; el científico intenta exponer las leyes generales que explican los hechos particulares. La ciencia consiste en una serie de proposiciones dispuestas en orden jerárquico; las del nivel más bajo de la jerarquía se refieren a los hechos particulares y las de más alto a alguna ley general que lo gobierna todo en el Universo. Evidentemente el conocimiento científico también es predictivo puesto que los esquemas generales encuadran una cantidad ilimitada de casos específicos.

La ciencia, en general, define la mayoría de sus conceptos. Las definiciones son convencionales pero no se les elige caprichosamente; deben ser convenientes y fértiles y una vez que se ha elegido una definición, ésta debe respetarse. Es muy importante definir los términos concretamente y sin ambigüedades. "Cuando las ideas vagas se tratan de poner en términos matemáticos o físicos, lo único que resulta son conclusiones vagas y un gran descrédito para quien hace esto", manifestó en una ocasión James Clerk Maxwell.

Así como la ciencia exige definiciones claras, también crea lenguajes artificiales, inventando símbolos (palabras, signos matemáticos, símbolos químicos, etcétera); a estos símbolos se les atribuye un significado determinado y debe ser lo más simple posible, pero podrán combinarse mediante reglas determinadas para formar configuraciones tan complejas como sea necesario.

La ciencia trabaja a base de modelos, es decir, representaciones propuestas para sistemas o relaciones que simplifican la comprensión de un problema dado. Los modelos no pretenden ser la fiel representación de una situación verdadera sino que simplemente establecen una situación que conduce a los resultados observados. El modelo define el conjunto de unidades fundamentales y establece reglas de comportamiento de manera que si el mundo estuviera realmente hecho con esas unidades, obedeciendo esas reglas, entonces su comportamiento coincidiría con lo que observamos. *El modelo postula una manera, no por la cual la naturaleza realiza el hecho observado, sino por la cual podría hacerlo.* Así pues no se espera que un modelo sea real sino que proporcione predicciones acertadas y más aún, que permita avanzar y profundizar en el entendimiento del sistema que la física trata de establecer.

Obviamente los modelos no son estáticos, generalmente van cambiando según los nuevos resultados de las observaciones o experimentos realizados e incluso eventualmente pueden llegar a ser desechados y substituidos por

otros, o restringidos a un cierto campo menos general que el pensado originalmente.

Muchas veces se construyen modelos que se sabe de antemano que no representan la totalidad del problema pero que lo simplifican para poder empezar a tratarlo cuando éste es muy complejo; o sea, que se eliminan concientemente de él factores que se saben presentes pero que de tomarlos todos en cuenta deficiaría el estudio del problema. Posteriormente, el modelo se va complicando tendiendo siempre a explicar la mayor parte de los detalles de los hechos observados.

Existen modelos físicos y modelos matemáticos. Un modelo físico es una representación material de algo: un dibujo, una construcción a escala, etcétera. Un modelo matemático es una expresión matemática (puede ser una gráfica, una ecuación, un conjunto de ellas, etcétera) que describe una relación entre las diferentes entidades que intervienen en el fenómeno.

Para construir un modelo matemático se le hace corresponder a cada característica observable un ente matemático, cuyas propiedades sean semejantes a las de este observable físico (p.e. a una fuerza se le hace corresponder un vector que es un ente matemático cuyas reglas de operación coinciden con el comportamiento observado de las fuerzas). Después, mediante postulados de relación se establece la representación matemática que relaciona entre sí los distintos entes matemáticos del modelo (se establece una fórmula). Una vez establecidas las relaciones estamos obligados a respetar las reglas matemáticas y con ellas podemos inferir lo que esperamos que ocurra en cualquier situación de las que pretende describir el modelo. Las predicciones se verifican con las mediciones u observaciones de los acontecimientos que tienen lugar en la naturaleza. Esto nos permite valorar la bondad del modelo, mejorarlo o cambiarlo en caso necesario. En realidad el término modelo como aquí se usa, es relativamente nuevo y fue introducido por Bohr cuando propuso su "modelo de átomo".

Para el establecimiento de los elementos que la componen, la ciencia utiliza lo que se ha llamado "El método científico". Evidentemente este método científico no es la regla de oro para descubrir infaliblemente cuestiones verdaderas, sino más bien representa las reglas del juego sin las cuales no se consideran válidos los intentos realizados y *es evidente que las reglas del juego no nos dicen cómo pensar astutamente para ganar él*. El método científico es el mejor método de que disponemos para comprender las relaciones funcionales entre las cosas con el mayor apego posible a la realidad, lo cual es la meta de las ciencias.

Para llegar a establecer un conocimiento científico existen tres etapas principales: la primera consiste en observar y describir los hechos; la segunda en postular hipótesis o modelos que, si son verdaderos, expliquen aquellos hechos; y la tercera en deducir de estas hipótesis o modelos

consecuencias que puedan ser puestas a prueba por la observación o experimentación para aceptarlos o rechazarlos. Es una regla cardinal del método científico el que las hipótesis o modelos deben en principio ser tales que pueda demostrarse experimentalmente que están equivocados. Las especulaciones no comprobables se consideran "no científicas".

Todo camino hacia la adquisición de un conocimiento nuevo debe partir de una situación en la que se dispone de conocimiento adquirido previamente, por lo menos el relacionado con lo que interesa investigar, para evitar, por un lado, buscar a ciegas en un campo donde ya hay ciertos progresos (¡y descubrir el hilo negro!) y, por otro lado, el uso inadecuado de conceptos o relaciones, por desconocimiento de las mismas. Es necesario disponer de una preparación básica y actualizada antes de pretender dar un paso adelante.

En la mayor parte de los problemas científicos la mayor dificultad está en establecer correctamente las preguntas. Una vez que esto se ha hecho es muy común que la respuesta resulte muy sencilla y a veces inmediata. Muchas veces resulta muy difícil distinguir cuál es el problema, pero mientras éste no se formule de manera clara y precisa no puede esperarse una solución.

Gran parte de la investigación científica se dedica exclusivamente al establecimiento de "hechos"; a la descripción detallada de acontecimientos y situaciones. Eventualmente del estudio de estos "hechos", pueden surgir hipótesis o modelos tendientes a explicar sus características o a establecer relaciones entre ellos. Al proponer estas hipótesis o modelos se debe procurar que cumplan con las siguientes condiciones: 1) que las causas propuestas para el fenómeno efectivamente sean capaces de producirlo. 2) que las causas supuestas para el fenómeno existan en la naturaleza.

Evidentemente estos requisitos son muy elásticos, pero dan una idea de la manera normal de proceder, aunque es necesario reconocer que algunas veces al no preocuparse mucho por ellos ha llevado a grandes descubrimientos y a cambios conceptuales fundamentales en la naturaleza ya que después de todo, la ciencia existe porque no sabemos todas las relaciones que existen, ni conocemos todo lo que hay.

Una vez que se tiene una hipótesis o modelo, el siguiente paso es deducir de ella otros hechos distintos de los observados en que se basó y, mediante las técnicas de que dispone la ciencia, poner a prueba estas consecuencias ulteriores. Si se observa un sólo caso en que no se cumpla la predicción, la hipótesis o modelo debe ser modificado o rechazado.\*

\* En general en un experimento se confronta una predicción debida a un conjunto de hipótesis y cuando hay una discrepancia mayor al error experimental deberá revisarse todo el conjunto de hipótesis.

Si por otro lado, se comprueba con los experimentos que son ciertas las predicciones de la hipótesis o del modelo propuesto (cuantas veces se pruebe) se puede decir que es "sostenible" y se agrega al acervo de la ciencia como una nueva aportación a éste. El término "sostenible" surge del hecho de que las hipótesis nunca pueden ser confirmadas plenamente, pues por más cantidad que se tenga de evidencias en las que se cumplen las predicciones, nunca se puede tener la seguridad de que en el futuro no se observe una contradicción. Un mejoramiento en las técnicas de observación suele traer consigo cambios en las teorías ya incluidas en el cuerpo de conocimientos al presentarse evidencias contrarias a las predicciones de dichas teorías. Esto puede traer consigo la necesidad de modificarlos o aun de desecharlos. Pero cuando una hipótesis o modelo, considerado como válido durante mucho tiempo, debe ser desechado para ser substituido por otro nuevo, éste debe cumplir dos requisitos:

- 1) Debe explicar todos los casos explicados por la hipótesis o modelo anterior, además de aquellos nuevos que motivaron su elaboración.
- 2) Debe ofrecer deducciones que guíen la indagación experimental subsecuente.

El valor de las hipótesis y modelos en el método científico es indiscutible; incluso aquellos que han resultado inadecuados han sido útiles puesto que han dirigido la búsqueda de evidencias que han conducido después a mejores teorías. No todos los artículos que actualmente se publican en las revistas científicas contienen hipótesis o modelos acertados, pero son el camino de la ciencia y la orientación hacia el mejor entendimiento de la naturaleza.

Es muy posible, y bastante frecuente, que más de una hipótesis o modelo sirva para explicar los hechos. En estos casos es un criterio generalizado adoptar el más sencillo y generalmente se acude a los más complicados, sólo cuando nuevas observaciones prueban que la hipótesis o modelo sencillo es inadecuado. Sin embargo este juicio, que podríamos llamar simplista, no es el único que sirve de guía para escoger entre varias posibilidades. Suelen también considerarse importantes cuestiones como diversidad de predicciones, su conformidad con la visión del mundo prevalciente en ese momento, e incluso su belleza.

Por supuesto que no existe ninguna regla para postular hipótesis o para construir modelos, éstos van siendo sugeridos por las observaciones y son el resultado de la lógica, la intuición, la experiencia y la habilidad particulares del científico; pero existen unas cuantas reglas valiosas que hacen esta tarea más fácil y en cierta forma ordenan la investigación. Podríamos mencionar algunos importantes como son:

- a) El ordenamiento sistemático de los datos.
- b) La supresión imaginaria de factores con el fin de descubrir las variables relevantes o significativas.
- c) La búsqueda de analogías fructíferas.
- d) La prueba de diferentes posibilidades de correlación.

Pero evidentemente existen muchos más “trucos del oficio” que indudablemente sólo se adquieren con la práctica.

Finalmente debemos decir que el “método científico” no es más que uno de los métodos que el hombre considera como válido para el conocimiento de la naturaleza y que por otro lado no es propiamente un “método”, en el sentido de un conjunto de pasos a dar para lograr un objetivo deseado (no es como el método para hacer bolillos) sino una especie de guía de comportamientos y de reglas de validez que sugieren *grosso modo* cómo se hace la investigación científica, sin garantizar en absoluto los buenos resultados y sin siquiera especificar cómo cubrir los requerimientos de cada paso: Tampoco necesariamente (y casi nunca) representa la manera cómo un científico procede en forma individual, ni siquiera la forma cómo proceden grupos o instituciones en conjunto, sino la forma cómo se ve el proceso general y a distancia. No existen reglas para generar la ciencia, sólo indicaciones y criterios para reconocer los productos del proceso como científicos y, más bien podríamos decir, haciendo eco de Paul Feyerabend,\* que en el quehacer científico, en primera instancia, “todo se vale”.

\* Paul Feyerabend, “En contra del método”.