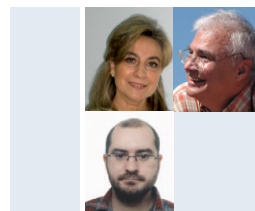


# Aprendizaje de la ciencia, metamodelos y metacognición



**M.ª José Gómez Díaz\***

VACC-CSIC. El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela

**J. M. López Sancho**

IFF-CSIC. El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela

**Esteban Moreno Gómez**

VACC-CSIC. El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela

---

## Palabras clave

Aprendizaje, método científico, naturaleza de la ciencia, metamodelo, metacognición, modelo, NOS, conceptualización, destrezas, constructivismo, ciencia, educación.

---

## Resumen

A lo largo de los tres últimos años, a través de estudios, seminarios y cursos de preparación sobre la enseñanza de la ciencia para profesores de las primeras etapas educativas, hemos llegado a la conclusión de que la idea de método científico que se maneja en las aulas corresponde básicamente a la enunciada por Francis Bacon en el siglo XVII. La visión que se desprende de esta idea, que solo hay un método y que corresponde a una actividad aislada del investigador, no es la más apropiada para comprender la verdadera naturaleza de la ciencia: una compleja actividad social, realmente multicultural, que tiene lugar a nivel mundial.

En este trabajo discutimos las características del quehacer científico, describimos el método baconiano e introducimos las principales ideas de la naturaleza de la ciencia que debe conocer el docente. Estas ideas deben estar presentes en el alumno desde los primeros años de escolarización, de manera que en el proceso general de alfabetización se incluya lo que se ha llamado alfabetización científica.

La segunda parte de este artículo describe distintas teorías del conocimiento y del aprendizaje, y concluye con una propuesta, basada en nuestra experiencia, para que el docente diseñe un itinerario de aprendizaje sobre un modelo científico. Nuestra proposición utiliza y relaciona la escala de destrezas de los hermanos Dreyfus y las etapas del desarrollo cognitivo de Piaget. Para ello, diferenciamos el conocimiento basado en reglas, del conocimiento basado en modelos.

---

\* E-mail de la autora: [mjgomez@orgc.csic.es](mailto:mjgomez@orgc.csic.es).

## Introducción

Las impresiones acerca de la enseñanza de la ciencia en las primeras etapas educativas que se desprenden de nuestro trabajo con maestros en el marco del programa *El CSIC y la Fundación BVVA en la Escuela*, nos han conducido a la necesidad de reconsiderar la idea de *método científico* con la que se suele trabajar en las aulas.

Al inicio de las V Jornadas que nuestro programa organizó en Zamora, en septiembre de 2014, tuvimos la oportunidad de realizar un sencillo test<sup>1</sup> a los maestros presentes que, a modo de sondeo, nos permitió detectar las ideas, prejuicios y valores que la comunidad educativa tiene acerca de la ciencia, de los científicos y de su modo de generar conocimiento. Como datos relevantes destacar que el 87% pensaba que «el método de trabajar en ciencia implica, siempre y en orden, los siguientes pasos: la observación, la elaboración de hipótesis, la comprobación de la hipótesis mediante experimentación y la formulación de una teoría» y un 64% opinaba que «existe un método científico aplicable a todas las ciencias». Como ya hicimos en dichas jornadas pretendemos con este artículo que la comunidad docente tenga una idea más precisa de la forma de trabajar en ciencia que define, a su vez, lo que es ciencia.

Se puede decir que hasta los años 60 del siglo pasado el paradigma de la enseñanza de la ciencia en la escuela respondía a la visión del método científico de Francis Bacon, reflejo de la actividad individual de las personalidades que comenzaron la Revolución Científica.

Aunque el *Novum Organum*, como contestación al *Organum* aristotélico, representó una revolución en el pensamiento, los cambios reflejados por los importantes acontecimientos posteriores (Revolución Industrial, del Conocimiento, Informática, Globalización, etc.) modificaron profundamente la actividad científica. Modificación que no se reflejó de manera conveniente en las primeras etapas de la enseñanza.

El patrón del método científico del siglo XVII, con su columna vertebral formada por la observación, experimentación, obtención de leyes y elaboración de modelos, emana de la forma en la que se desarrolló la física en esa época. Y, cuando los alumnos la estudian y comprenden, llegan a dos conclusiones erróneas.

La primera les lleva a creer que las leyes emanan directamente de los resultados de los experimentos, de una manera semejante a como se obtiene la nota media de un curso o el balance de ganancias y pérdidas de una sociedad.

.....

<sup>1</sup> Se puede consultar el test realizado en las V Jornadas *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* entre asesores, maestros y científicos. Zamora, 26 y 27 de septiembre de 2014.

La segunda les hace difícil comprender cómo se pueden considerar ciencias la Historia o la Astronomía e, incluso, la Biología y la Geología, en las que los conceptos de medida que se aplican en la Física no siempre tienen correspondencia en sus campos de aplicación.

La mayoría supone que el modelo de la evolución de Darwin no es científico, ya que no se ajusta al método que ellos consideran como definitorio de lo que es una ciencia. Y lo que es aún peor, les imposibilita entender la íntima relación entre ciencia, matemáticas y desarrollo tecnológico, que es la base del progreso de la ciencia desde los principios de la revolución científica.

Pero a mediados del siglo xx, como resultado de la rivalidad entre los dos bloques en que se encontraba dividido el mundo y en especial como respuesta al lanzamiento del Sputnik, surgió en los Estados Unidos de América un movimiento renovador de la enseñanza de la ciencia que cristalizó en la Alfabetización Científica de la sociedad como objetivo de Estado.

Este problema fue abordado a finales del siglo pasado por las asociaciones de profesores en Estados Unidos, científicos de gran relevancia, organismos públicos y organizaciones de la sociedad civil. En el tema que hemos planteado es obligado destacar a L. Lederman y R. S. Schwartz, quienes sustituyeron la enseñanza basada en el método lineal (baconiano) por la enseñanza basada en la Naturaleza de la Ciencia (NOS, *Nature of Science*), que descansa sobre la hipótesis de que la forma en la que aprenden los niños es la misma que la utilizada por los científicos en sus investigaciones. La bibliografía referente a este tema es ingente.

En este escenario de nueva forma de abordar la ciencia en el aula aparecieron los criterios de evaluación diagnóstica en sustitución de los clásicos exámenes. Estas pruebas nacieron con la intención de cuantificar la capacidad de solucionar problemas, eligiendo las herramientas mentales y el modelo científico más apropiados entre sus conocimientos. Este ha sido un gran paso adelante, aunque los criterios en los que se basan no hayan alcanzado el grado de madurez deseable.

Debemos profundizar en las características y naturaleza de la investigación científica, es decir, la forma en que la ciencia extrae de la Naturaleza el conocimiento necesario para elaborar los modelos con los que los científicos representan la realidad. Posteriormente presentaremos nuestro esquema de modelo de aprendizaje centrado en una competencia científica.

## La naturaleza de la investigación científica

### Las fuentes del conocimiento científico

Como en todas las cuestiones relacionadas con el conocimiento, será bueno comenzar por el mundo griego, donde se plantearon los problemas más importantes y se propusieron las soluciones más ingeniosas. El que nos ocupa es el que trata la forma en que las personas generan el conocimiento.

Los seres humanos siempre se dieron cuenta de que las cosas ocurrían en la Tierra de una forma organizada y sujeta a leyes, probablemente impuestas por los dioses, pero siempre escondidas en un análisis superficial de los fenómenos. Y siempre se plantearon el problema de cómo conocer la naturaleza de esas leyes y sus enunciados.

Para Leucipo (**Imagen 1**), siglo V a. C., de quien se considera que sienta las bases de la ciencia y que fue maestro de Demócrito (a ambos se les atribuye la fundación del *atomismo mecanicista*):

*... nada ocurre al azar, todo obedece a leyes fijas, ...*



**Imagen 1.** Retrato idealizado de Leucipo.

Y a él también se le atribuye la actitud optimista, aunque gratuita, que todavía mantenemos:

*Las personas son capaces de descubrir esas leyes y entender la realidad.*

Platón (427-347 a. C.), basándose en que los animales nacen con conocimientos suficientes para vivir (desplazarse, alimentarse, construir nidos o guaridas, procrear, realizar largas y complicadas migraciones), postula su teoría racionalista. De acuerdo con Platón las personas nacen también, como los demás animales, con conocimientos de especie, pero desaparecen de su conciencia al atravesar el río del Olvido. Como consecuencia de esta hipótesis, la pedagogía de Platón se centra en la recuperación de los conocimientos que tenemos olvidados. Esto se consigue pasándolos del subconsciente al consciente por medio del discurso lógico o método socrático, como se describe en su diálogo *Menón*.

Pero Aristóteles (384-322 a. C.) introduce un modelo de conocimiento contrario al de Platón. Para él nacemos sin saber absolutamente nada, como una pizarra sin nada escrito. En este esquema las verdades se adquieren por deducción lógica, es decir, por discusiones que contrastan diversas hipótesis. El resultado es que, al no tener nada que recordar, debemos aprender de la observación y el estudio de la naturaleza, es decir, para Aristóteles el conocimiento es empírico. Este modelo es mantenido por filósofos como Tomás de Aquino (1224-1274), William de Ockham (1280-1349), John Locke (1632-1704), George Berkeley (1685-1753) y David Hume (1711-1776).

Siguiendo nuestro camino histórico, no podemos ignorar el papel de las matemáticas cuyo desarrollo avanzó de manera un poco independiente, salvo en el caso de la Astronomía, del resto de las demás ciencias, convirtiéndose en un referente de exactitud y certeza.

Pitágoras de Samos (569-475 a. C.) estructuró los conocimientos de la época e introdujo la idea de *demostración matemática* como un método para llegar a verdades incuestionables. Algo más adelante Euclides (325-265 a. C.), conocido como el padre de la geometría, utiliza también el método de la demostración, basado exclusivamente en la lógica. Fue el líder de un equipo de matemáticos que trabajaban en la Biblioteca de Alejandría y todos ellos contribuyeron a escribir las *obras completas de Euclides*, incluso firmando los libros con el nombre del maestro varios años después de su muerte.

Damos un salto en el tiempo para recordar a Galileo Galilei (1564-1642), quien unió el camino de la filosofía natural con el de las matemáticas proporcionando así el andamiaje necesario para consolidar la Revolución Científica. Galileo en *Il Saggiatore* (1623) escribe:

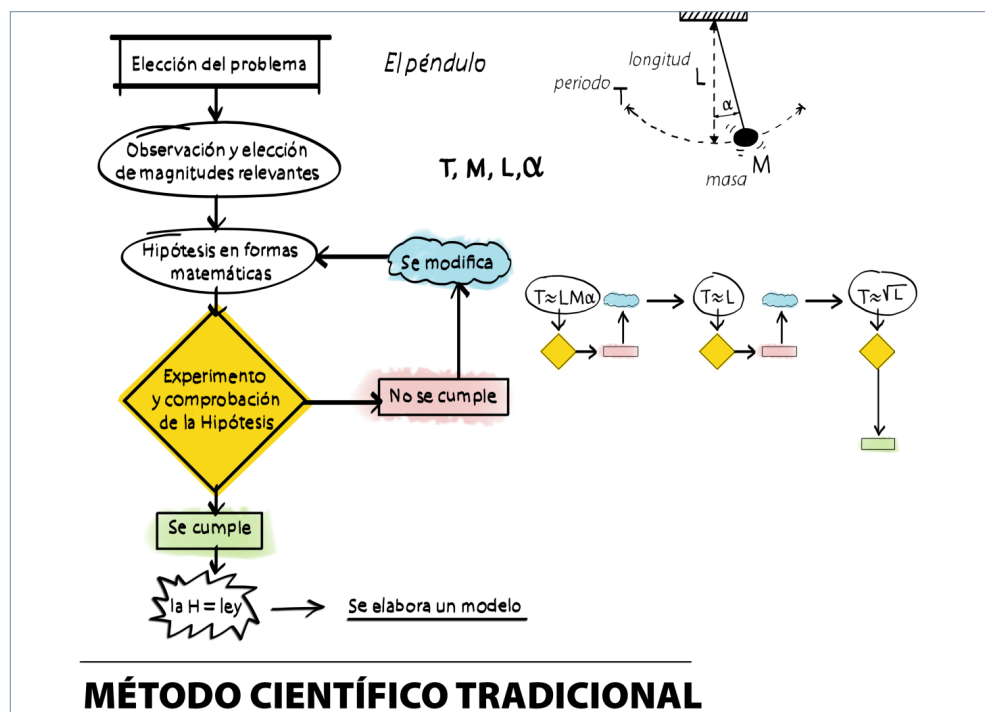
*La Filosofía Natural está escrita en ese gran libro que tenemos abierto ante nuestros ojos, quiero decir, el universo; pero no se puede entender si antes no se aprende el lenguaje, los caracteres en los que está escrito. Y está escrito en lenguaje matemático, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender ni una palabra; sin ellos es como dar vueltas vanamente en un oscuro laberinto.*

Es fundamental darse cuenta de que las matemáticas proporcionan a los resultados de las medidas toda la capacidad deductiva de la lógica, pero a un nivel cuantitativo, a la vez que dotaban a la ciencia de una enorme capacidad de síntesis en el lenguaje.

Pero Francis Bacon (1561-1626) se dio cuenta de las limitaciones del proceso de deducción y definió un nuevo método de obtener conocimiento cierto (*Novum Organum*, 1620) de la siguiente manera:

Primero debemos observar los fenómenos naturales aplicando los sentidos a un objeto o a un fenómeno, para estudiarlos tal como se presentan en realidad; este estudio puede realizarse de forma casual o en casos provocados a nuestra voluntad (causalmente).

A esas observaciones se les aplica el proceso de inducción, que consiste en generalizar el *principio* particular de cada una de ellas y elevarlo a principio general. Estas generalizaciones se deben comprobar experimentalmente de manera que se acepten o se refuten. Estas reglas constituyen la base del método científico de Bacon (**Imagen 2**), cuando llevamos a nuestra mente los resultados de las medidas, las podemos tratar por medio de las matemáticas, disciplina para la que las personas tenemos una especial habilidad. En la época de Galileo y Bacon las matemáticas llevaban desarrollándose más de 2000 años.



**Imagen 2.** Diagrama que muestra esquemáticamente el método científico tradicional o baconiano. El problema propuesto es determinar la relación entre el periodo de oscilación de un péndulo y su longitud. La relación entre ambas magnitudes, para un número de oscilaciones reducido, se debe a Galileo.  $T$ , periodo;  $M$ , masa;  $L$ , longitud del hilo y  $\alpha$ , ángulo.