

n.º 13

Serie

El CSIC en la Escuela

Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



CSIC

Fundación **BBVA**



n.º 13

Serie

El CSIC en la Escuela

Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula



SERIE EL CSIC EN LA ESCUELA, N.º 13

DIRECCIÓN:

Director: José M.ª López Sancho (CSIC)

Vicedirectora: M.ª José Gómez Díaz (CSIC)

Directora adjunta: M.ª del Carmen Refolio Refolio (CSIC)

EDITOR:

Esteban Moreno Gómez (CSIC)

COMITÉ DE REDACCIÓN:

Coordinadora: M.ª José Gómez Díaz (CSIC)

Salomé Cejudo Rodríguez (CSIC)

Alfredo Martínez Sanz (colaborador de El CSIC y la FBBVA en la Escuela)

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR:

Presidente: Martín Martínez Ripoll (CSIC)

Gerardo Delgado Barrio (CSIC)

Enrique Gutiérrez-Puebla (CSIC)

Jaime Julve Pérez (CSIC)

M.ª Ángeles Monge Bravo (CSIC)

Pilar López Sancho (CSIC)

Almudena Orejas Saco del Valle (CSIC)

María Ruiz del Árbol (CSIC)

Javier Sánchez Palencia (CSIC)

Inés Sastre Prats (CSIC)

Pilar Tígeras Sánchez (CSIC)

An aerial, black and white photograph of a dense forest. A river or stream winds through the trees, creating a complex pattern of light and dark. The perspective is from directly above, looking down on the canopy.

n.º 13

Serie

El CSIC en la Escuela

Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, 2015

Reservados todos los derechos por la legislación en materia de Propiedad Intelectual. Ni la totalidad ni parte de este libro, incluido el diseño de la cubierta, puede reproducirse, almacenarse o transmitirse en manera alguna por medio ya sea electrónico, químico, óptico, informático, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo por escrito de la editorial.

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, solo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

Catálogo general de publicaciones oficiales:
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

EDITORIAL CSIC: <http://editorial.csic.es> (correo: publ@csic.es)

Para publicar en *Serie El CSIC en la Escuela*:
<http://www.csicenlaescuela.csic.es/publicaciones.htm>



Fundación **BBVA**

© CSIC

e-ISBN (obra completa): 978-84-00-09299-3

e-ISBN (n.º 13): 978-84-00-09911-4

e-NIPO: 723-15-027-5

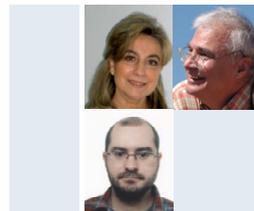
Diseño y maquetación: Alejandro Martínez de Andrés

Ilustraciones: Luis Martínez Sánchez y Alejandro Martínez de Andrés

The logo for the index, featuring a square icon with a vertical bar on the left and the word 'ÍNDICE' in a bold, sans-serif font to its right.

Aprendizaje de la ciencia, metamodelos y metacognición <i>M.º J. Gómez, J. M. López y E. Moreno</i>	7
El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela en República Dominicana <i>M.º J. Gómez y S. Cejudo</i>	31
The teaching of science at the earliest stages of education. The Comenius project «discovering the world: developing skills through experimentation and exploration» <i>La enseñanza de la ciencia en las primeras etapas de la educación. El proyecto Comenius</i> «Descubrir el mundo: el desarrollo de capacidades a través de la experimentación y la exploración» <i>A. Widajewicz, M. Ruiz y E. Tomasik</i>	40
Las líneas de fuerza de Faraday: una representación mental muy útil en la enseñanza <i>E. Moreno y J. M. López</i>	55

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.

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 test¹ 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.

.....

¹ 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.

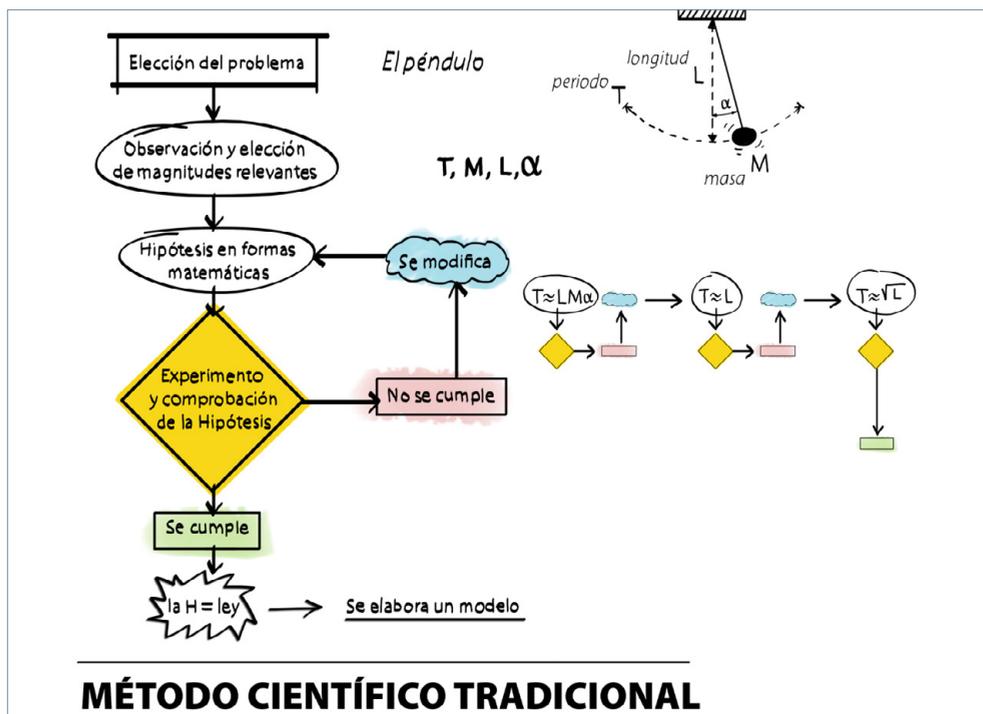


Imagen 2. Diagrama que muestra esquemáticamente el método científico tradicional o baconiano. El problema propuesto es determinar la relación entre el periodo de oscilación de un péndulo y su longitud. La relación entre ambas magnitudes, para un número de oscilaciones reducido, se debe a Galileo. T ,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

La estructura del conocimiento científico: definiciones, leyes y modelos

Lo importante es observar las regularidades entre medidas pues cuando son universales (o así lo creemos), las elevamos a la categoría de leyes de la naturaleza.

La obtención de leyes es un paso importante en el trabajo del científico. La ley de Ohm, [$\mathbf{V} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{R}$]; la segunda de Newton, [$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$]; la ley de Hooke, [$\mathbf{L} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{F}$]; la ley de Boyle, [$\mathbf{P} \cdot \mathbf{V} = \text{constante}$]; etc., no son más que diferentes ecuaciones matemáticas en las que cada letra representa una medida. Llegados a este punto, es importante diferenciar entre ley y definición.

Una ecuación entre medidas se considera ley cuando las magnitudes que intervienen se pueden medir independientemente. Un buen ejemplo es el de la conocida como segunda ley de Newton,

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

Es esta una ecuación entre medidas en la que \mathbf{F} representa la medida de la fuerza, obtenida por medio de un dinamómetro y expresada en Newtons, \mathbf{m} representa la medida de la masa, expresada en kilogramos y \mathbf{a} la medida de la aceleración en metros por segundo en cada segundo. Por su carácter de ley, siempre que se aplica una fuerza \mathbf{F} a un cuerpo de masa \mathbf{m} se produce una aceleración \mathbf{a} de manera que los tres números satisfacen la igualdad señalada. Como es lógico, dado el carácter universal de la ley la podemos utilizar para **predecir** el valor de cualquiera de las tres variables, cuando se conocen las otras dos. La predicción es uno de los pilares de la ciencia.

Una ecuación, en cambio, es una definición cuando una variable (variable dependiente) no puede medirse de manera independiente de las otras. Así definimos la velocidad media como el resultado de dividir la medida de la longitud \mathbf{L} de la trayectoria recorrida por un móvil entre la medida del tiempo \mathbf{t} empleado en recorrerlo.

$$\mathbf{V} = \mathbf{L} / \mathbf{t}$$

Debemos citar en este punto el hecho de que para enunciar una ley, a la que suponemos cumplimiento de manera universal, los investigadores suelen emplear un número muy limitado de observaciones o experimentos.

Una vez que los científicos obtienen las leyes, se imaginan cómo tiene que ser el mundo real para que se comporte de ese modo; es decir, crean un modelo o representación del que se deduzcan las leyes. Este es un proceso de creatividad muy interesante. Por ejemplo, cuando Robert Boyle (1624-1691) inventó o descubrió su ley de los gases en 1662 (este punto no está claro, por eso decimos que las leyes se enuncian), surgieron varios modelos que la explicaban. A continuación describiremos los tres modelos que intentaron explicar el origen de la presión y que difieren en la naturaleza molecular de los gases.

En el primer modelo, debido al mismo Boyle, las moléculas son estáticas y se comportan como bolas de lana de acero muy elásticas; para disminuir el volumen que ocupaban debían deformarse, oponiéndose debido a la aparición de fuerzas mecánicas de naturaleza elástica.

Newton (1642-1727), en la misma época, propuso un modelo de moléculas que estaban quietas en el espacio y, entre las cuales, existían unas fuerzas repulsivas que las mantenían alejadas unas de otras, oponiéndose así a la disminución de volumen.

Finalmente, Daniel Bernoulli (1700-1782), setenta años después de publicada la ley de Boyle, lanzó un modelo (**Imagen 3**) en el que los gases están constituidos por una enorme cantidad de moléculas provistas de una masa determinada, distinta para cada gas, cuyos choques con las paredes son perfectamente elásticos. La presión se debe, en este modelo, a la fuerza que las moléculas ejercen sobre la superficie del recinto, en el que se encuentran confinadas, al chocar de forma elástica contra las paredes. Supuso, además, que la velocidad de las moléculas aumenta con

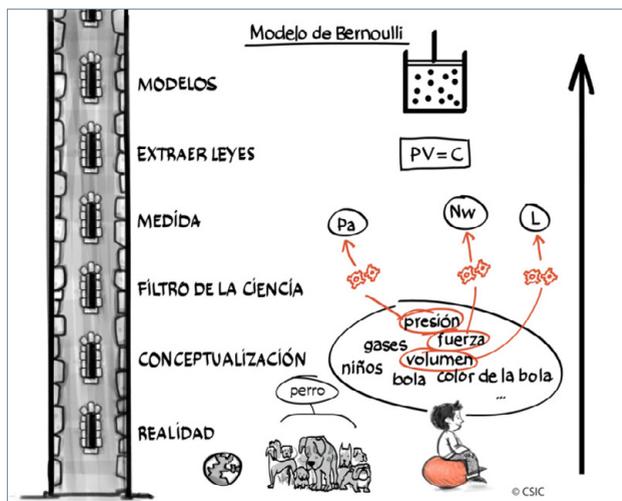


Imagen 3. Ilustración que refleja varios aspectos relevantes en el proceso de construcción de conocimiento científico según el método de Bacon. Con el modelo de Bernoulli se describe el comportamiento de las moléculas en un gas y se deduce la ley de Boyle. De todos los conceptos que describen la realidad en la mente del alumno solo los que son susceptibles de convertirse en magnitudes pueden intervenir en la descripción científica de, en este caso, un gas.

la temperatura, por lo que el modelo molecular proporcionó una visión nueva de la naturaleza del calor. Desafortunadamente, Lavoisier no tuvo en cuenta esta descripción de los efectos de la temperatura cuando en su tratado de química, publicado el mismo año en que tuvo lugar la Revolución Francesa, postuló la existencia del calórico, un fluido responsable del aumento de temperatura de los cuerpos.

Las características de los modelos científicos

Es fundamental que los alumnos comprendan que **los modelos son creaciones de la mente humana**, representaciones mentales de cosas que no vemos, elaboradas con el propósito de explicar las leyes de la naturaleza de una manera simplificada y accesible para las personas; por esa razón están sujetas a cambios y modificaciones.

Karl Popper (1902-1994), filósofo de la ciencia, introdujo el concepto de falsación como requerimiento fundamental para que un modelo o teoría fuese considerado científico (**Imagen 4**). De acuerdo con la Real Academia Española, falsar es rebatir una proposición o una teoría mediante un contraejemplo o una observación empírica. Así pues, los modelos deben poderse comprobar, para ser rebatidos o conservados.

Y si nos retrotraemos al siglo XIV William de Ockham, basándose en que la simplicidad es una propiedad de la verdad, propone la idea de que la explicación más sencilla es la más acertada (más cercana a la realidad). Esto equivalía a pasar una navaja por los modelos que se propusieran de manera que se dejase solo lo esencial. Por eso los modelos propuestos se van contrastando con los resultados de nuevos experimentos y se elige el más sencillo de los que explican el resultado del mayor número de experimentos. Por ejemplo, Bernoulli explica el efecto de la temperatura, que no explican los otros.



Imagen 4. Ilustración del enfoque de Karl Popper como un test para distinguir la ciencia de la pseudociencia. Modificado de López Sancho, 2003.

¿Qué es la realidad desde el punto de vista de la ciencia?

Es evidente que no podemos asimilar la totalidad del mundo real con todos los detalles. Por eso, la única manera a nuestro alcance de conocerla es por medio de modelos muy simplificados, de acuerdo con el esquema de Piaget.

El conocimiento más completo al que podemos aspirar sobre un fenómeno, es el que nos proporcionan los diferentes modelos que tenemos de ese fenómeno. Pero en cada caso utilizamos el más sencillo (recordemos a Ockham). Por ejemplo, en el caso de la luz disponemos de tres modelos: el corpuscular de fotones, el ondulatorio y el de relatividad general. La realidad es la visión que nos proporcionan ambos modelos, aunque su campo de aplicación sea diferente. Es decir, la mecánica relativista, la mecánica de Newton y la mecánica ondulatoria son tres modelos de la mecánica que constituyen la realidad.

La visión postestructuralista

Pero en la segunda mitad del siglo xx, con el postestructuralismo se reconsideran las verdades admitidas por los estructuralistas.

En la actualidad el método científico baconiano se sigue enseñando en las aulas de enseñanza no universitaria, sin tener en cuenta los movimientos filosóficos y científicos del siglo pasado que modificaron estos patrones.

Las ideas más importantes que contribuyeron a este cambio fueron la *Revolución Cognitiva* y la *Deconstrucción* de conceptos bien asentados y admitidos (como el del papel del sexo, del Método Científico de Bacon, las razas, etc.) realizada por los postestructuralistas, en especial por Jaques Derrida (1930-2004) y Paul Feyerabend (1924-1994).

Deconstrucción es un término utilizado por el filósofo postestructuralista Jacques Derrida. Consiste en estudiar cómo se ha construido un concepto cualquiera, mostrar los procesos históricos que han influido en su formación y desposeerle de los añadidos metafóricos que ha ido acumulando, que no son esenciales para ese concepto. Este proceso se puede ver claramente al estudiar los conceptos de hombre y mujer, de hombre blanco y hombre de color, etc. Estos y otros ejemplos más muestran que lo claro y lo evidente distan, en realidad, de serlo, debido a los valores añadidos y superfluos de las figuras retóricas de la metáfora y la metonimia.

Retomando el concepto de Método Científico tradicional como una máxima en el desarrollo de la ciencia, acudimos a Feyerabend quien adquiere un protagonismo importante en su deconstrucción. En su obra *Contra el método* señala que existen muchas formas de investigación que no siguen el método científico de Bacon: en astronomía no se pueden realizar experimentos (al menos hasta finales del siglo XIX) y a pesar de ello es la primera disciplina científica que se desarrolló. Otros ejemplos que claramente contradicen la idea de un método científico baconiano universal son la teoría de la Evolución (que se elaboró sin la toma de medidas), además de multitud de descubrimientos fortuitos como los rayos X, la penicilina o la radiactividad.

El análisis de la naturaleza de la ciencia (NOS)

¿Qué otros procedimientos de hacer ciencia existen que incluyan a otras ciencias?

Como resultado de la *deconstrucción* del método de Bacon, desde hace más de cincuenta años, muchos científicos cooperaron para describir algunos puntos fundamentales que definiesen todas las ciencias (no solo las que tratan únicamente magnitudes), de manera que se sustituyese el paradigma de que ciencia es aquel conocimiento que se genera únicamente aplicando el método científico lineal, clásico, baconiano. Nos referimos a la naturaleza de la ciencia, *Nature of Science* (NOS), una serie de principios e ideas que pretenden explicar las características de la ciencia y de los mecanismos que generan conocimiento científico. A continuación describimos los puntos básicos de la NOS:

1. La NOS acepta los principios de Leucipo.

De acuerdo con Leucipo, *nada ocurre al azar, sino que se debe a una causa a la que necesariamente se obedece*. En esta cita Leucipo establece su creencia de que existen unas leyes de la naturaleza, fijas, que necesariamente se cumplen. Los creacionistas decían que Dios había creado la Tierra con los fósiles incluidos, a manera de trampa para los científicos soberbios y orgullosos. Bertrand Russell utiliza de forma escéptica este mismo pensamiento en su argumento de la tierra de cinco minutos.

En definitiva, la ciencia solo es útil si los dioses son honrados, como decía Leucipo.

2. La ciencia se construye con una gran dosis de creatividad.

Los modelos y teorías **no** derivan de una manera automática de las leyes o de la observación de los experimentos, sino que implican una actividad creadora propia de los genios.

La aplicación lineal del método científico (paso a paso) no es lo común en la práctica investigadora.

A veces, cuando preparamos una actividad en el aula, como la de la ley de Hooke, ocultamos la dificultad de llegar a la expresión de la ley a partir de las medidas, dando la falsa idea de que la obtención de leyes es un proceso casi automático.

3. Los científicos, como los demás, viven en una sociedad con una cultura determinada.

La ciencia es una empresa humana y como tal se practica dentro de un contexto cultural determinado y es influida por los cambios sociales, políticos, filosóficos o religiosos. Los modelos que inventan los científicos están sujetos a las fuerzas sociales, a tendencias en la manera de pensar, etc. En general las ideas más revolucionarias (en ciencia, arte, etc.) provienen de personas un poco *outsiders*, como Galileo, Darwin, Einstein, Picasso, etc. Por eso suelen chocar con fuerte oposición. La ciencia forma una cultura que tiende a rechazar lo que no se puede asimilar por esa cultura: un ejemplo podría ser la acupuntura que no se admitió hasta que no se explicó con el conocimiento de la medicina occidental.

4. Las únicas explicaciones que se pueden dar en ciencia son las que se deducen de los modelos científicos.

El conocimiento científico está condensado exclusivamente en leyes y modelos. Un mismo conocimiento científico puede tener varios modelos, como hemos visto anteriormente para la luz.

De esta forma llegamos a la *deconstrucción* del concepto de método científico tradicional, relegándolo a un método más, no aplicable a todas las ciencias.

Hemos intentado, con este breve análisis, realizar un metamodelo: en este caso un modelo de cómo las ciencias modelizan la realidad.

Describamos con un esquema (**Imagen 5**) los pasos que se contemplan en una investigación científica basada en la NOS, con algunos ejemplos para tres disciplinas distintas:

1. Elección del problema.

En Física, por ejemplo, obtener la ley del péndulo. En Historia descubrir la trama que acabo con la vida de Filipo de Macedonia. En Paleontología, determinar los ecosistemas del Jurásico en la península ibérica.

2. Conceptualización de la realidad.

En Física definición de magnitudes. En Historia clasificación de las culturas y sucesión cronológica y geográfica de las mismas. En Paleontología clasificación taxonómica de los fósiles correspondientes, clasificación de las rocas y sucesión cronológica y geográfica de las mismas.

3. Recopilación de datos.

En Física resultados experimentales y de observaciones. En Historia las fuentes y métodos de datación. En Paleontología excavaciones, columnas estratigráficas y métodos de datación.

4. Modelo mental que hace el científico a partir de los datos recopilados reflejando lo que él cree que es o fue el escenario real.

En Física se refleja en leyes y modelos. En Historia con descripciones y modelos sociales de los hechos del pasado. En Paleontología con descripciones y modelos de los paleoecosistemas y de su evolución.

5. El producto final de la investigación constituido por los libros, artículos, conferencias elaborados por los investigadores en los que se refleja todo el proceso de la NOS.

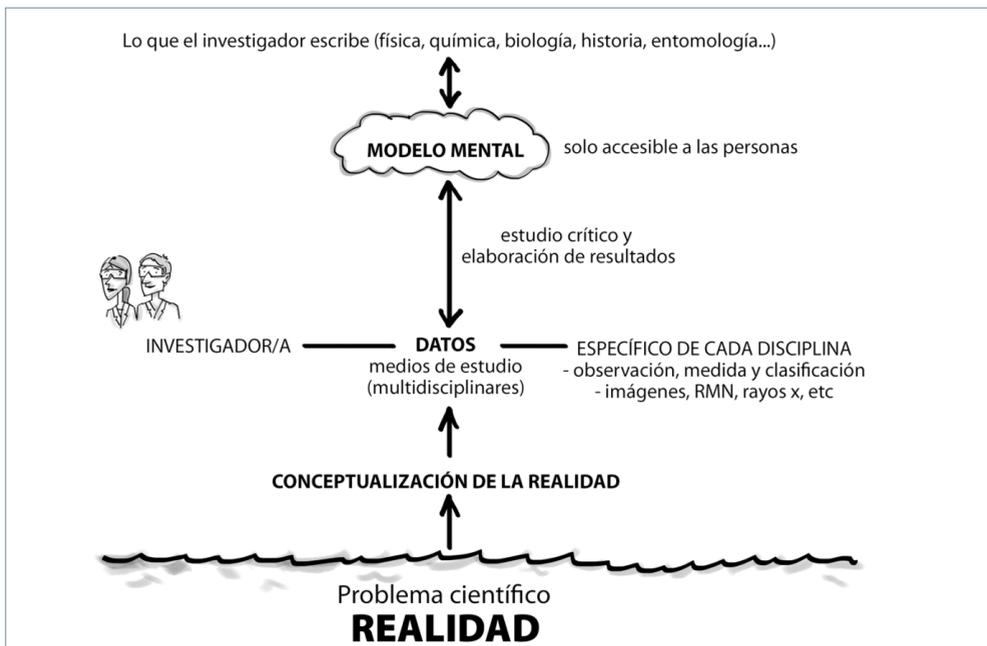


Imagen 5. Diagrama esquemático sobre la forma en que se construye el conocimiento científico aplicando las ideas de la NOS. Para ejemplos en distintas disciplinas consultar texto.

El aprendizaje en las aulas de la naturaleza de la ciencia

De acuerdo con las recomendaciones de The National Science Teachers Association (1992), The American Association for the Advancement of Science (1993), y el National Research Council (1996), desde los años 90 del siglo pasado los objetivos de la enseñanza de la ciencia se han ido centrando en métodos constructivistas basados en un proceso de investigación llevado a cabo por el propio alumno. El estándar normativo para la educación científica (National Science Education Standards), en particular, recomienda un cambio en el enfoque de la enseñanza de la ciencia de manera que se dé prioridad a que los alumnos entiendan los procesos de investigación científica y la utilización del conocimiento científico.

Este punto de vista es el seguido en las evaluaciones reflejadas en los informes PISA. Lo que PISA mide en sus tests² es el grado de alfabetización científica de los alumnos, evaluando, no solo su conocimiento en ciencias sino también la capacidad que tienen los alumnos para utilizar el conocimiento científico, identificando los puntos importantes de los problemas propuestos, utilizando el conocimiento basado en la evidencia de una forma lógica, deduciéndolo de leyes y modelos para plantear la solución del problema.

Breve repaso a las teorías que abordan el aprendizaje

A lo largo de la historia el término aprender ha suscitado diferentes teorías (**Imagen 6**).

El *Conductismo*, desarrollado a principios del siglo xx, considera el aprendizaje como una modificación del comportamiento. Básicamente consiste en la generalización de los resultados experimentales obtenidos por Paulov y Thorndlike, sobre las formas en las que aprenden los animales (como los perros sabios del circo), y aplicarlos a los seres humanos (Watson).

El mecanismo de este aprendizaje es el de influenciar al que aprende por medio de *estímulos* (positivos o negativos) para producir la *respuesta* deseada (aprendizaje), que puede ser reforzada posteriormente por otros estímulos (Skinner), este método no hace referencia a *estados mentales* del alumno y el protagonista del proceso de aprendizaje es el profesor.

.....

2 Ver evaluación Pisa en el año 2015. Marco Teórico y pruebas en el área de Ciencias.

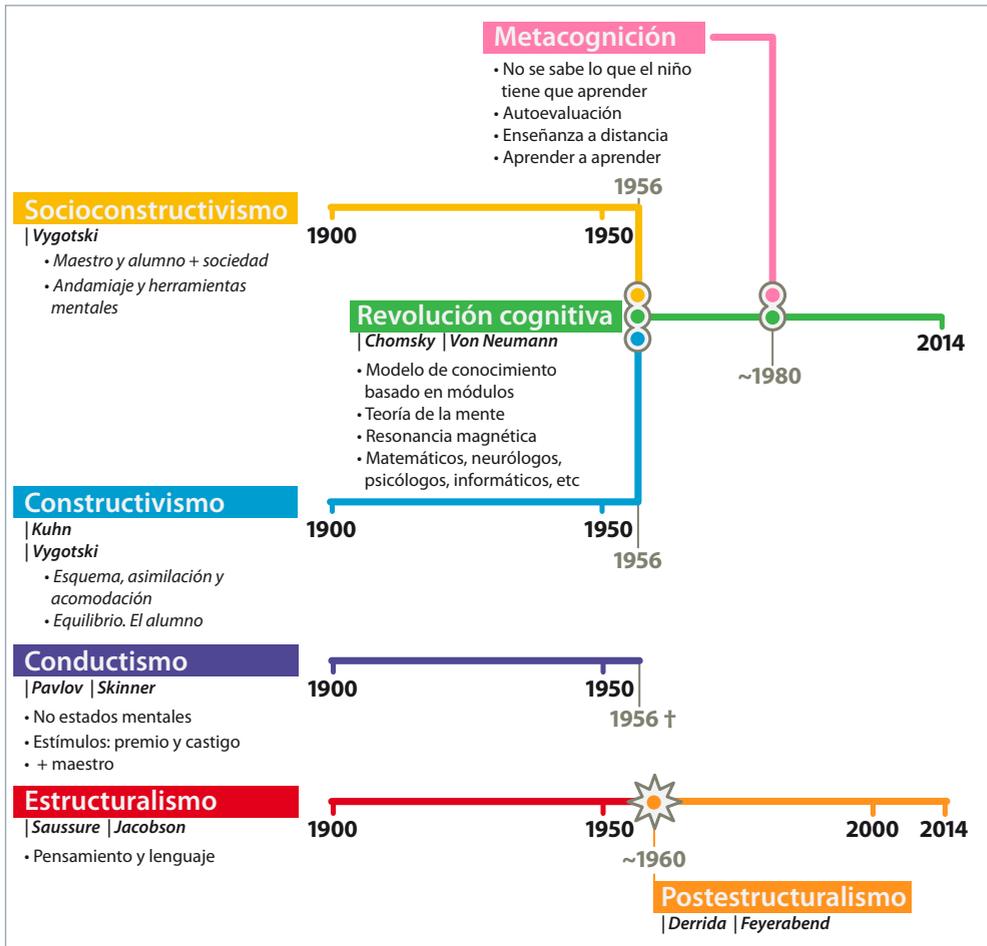


Imagen 6. Cuadro esquemático que proporciona una síntesis y situación temporal de las distintas teorías y corrientes que han abordado, entre otros, el concepto de aprendizaje. Modificado de López Sancho (2014).

La revolución cognitiva se puede considerar como otro de los efectos del post estructuralismo, que revisaron y deconstruyeron los conceptos de mente y materia, pensamiento y mundo real.

Comenzó en 1956 en un simposio sobre teoría de información, en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Se presentaron trabajos sobre ordenadores (Newell y Simon), funcionamiento de la memoria (Miller), la existencia de una gramática universal (Chomsky) o sobre la atención como un estado mental. Para los cognitivistas el alumno se comporta como una máquina (ordenador) que procesa los datos e información que se le suministra de acuerdo con sus características mentales.

Lo que ha aprendido se refleja por cómo la máquina modifica su funcionamiento o capacidad de procesamiento (capacidad de resolución de problemas) después de haber aprendido.

El *constructivismo* es una rama del cognitivismo que, por primera vez, *asigna al que aprende un papel activo y fundamental* en el proceso de aprendizaje. Es el resultado de los trabajos de Jacques Lacan, basados en el estructuralismo de Saussure y Freud, pero su base teórica y experimental se debe a Jean Piaget, que con una visión y unos modelos estructuralistas (que Piaget considera un método y no una doctrina) y cognitivistas estableció las reglas del constructivismo, posiblemente el modelo teórico más importante de la teoría del conocimiento hasta la fecha. Para Piaget no existe estructura sin proceso de construcción de la misma. El aprendizaje se define como el resultado de un proceso de construcción de una estructura mental cuyo elemento fundamental es el esquema o modelo simplificado de la realidad, que se construye por medio de dos procesos: asimilación y adaptación. Estos mecanismos los aplica el ser humano para conseguir el estado de *equilibrio* respecto al mundo exterior. Para Piaget la necesidad de entender el mundo o intentar llegar al *estado mental de equilibrio*, es una especie de impulso instintivo.

Como es natural, aparecieron algunas teorías en las que se incluía el papel de la sociedad en los procesos de aprendizaje, que se conocen todas bajo el nombre común de *socio-constructivistas*. Los más importantes de estos trabajos son los de Vygotsky y Bakhtin, cuyos trabajos no se publicaron en occidente hasta los años 90. Las aportaciones más importantes de estos investigadores fueron los conceptos de funciones mentales inferiores y superiores, herramientas mentales, la zona de desarrollo próximo y la mediación. Hoy las ideas socio-constructivistas se incluyen en todos los modelos y métodos de aprendizaje.

Propuesta de El CSIC y la FBBVA en la Escuela: aprendizaje basado en la metacognición

La propuesta de *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* sobre qué es aprender se apoya en la metacognición: un tipo de aprendizaje en el que los alumnos son conscientes de su propio proceso de aprendizaje y toman las riendas del desarrollo del mismo. El dominar esta técnica constituirá la herramienta *Vygotskyana* más importante en su formación futura.

Metacognición es un proceso en que el alumno debe controlar lo que aprende, como lo aprende y autoevaluarse. El alumno representa tres papeles: el del que enseña, el del que aprende y el del que evalúa.

¿Qué es el aprendizaje?

Creemos que el aprendizaje es un proceso que nos conduce a ser capaces de realizar tareas, trabajos o labores que inicialmente no podemos llevar a cabo. Por ejemplo, aprender a montar en bici nos conduce desde la situación **A**, en la que no sabemos, a la situación **B**, en la que somos capaces de desplazarnos en ese vehículo (**Imagen 7**).



Imagen 7. En la situación (A) el conocimiento reside en aprender una serie de reglas. En la situación (B) la niña conoce esas reglas y las aplica con destreza.

El aprendizaje requiere adquisición de conocimiento (knowledge) y desarrollo de destrezas (skills).

¿Qué son conocimientos y qué son destrezas?

Hay dos tipos de conocimiento: el conocimiento basado en reglas y el conocimiento basado en modelos.

Así pues, el conocimiento es lo que se adquiere aprendiendo reglas o construyendo modelos y el conocimiento basado en reglas se adquiere aprendiendo esas reglas.

El conocimiento basado en modelos se adquiere reconstruyendo el proceso de obtención de las leyes y de elaboración del modelo (constructivismo). Las destrezas, en cambio, son las capacidades físicas y mentales que se desarrollan con la práctica y que son necesarias para realizar tareas basadas en el conocimiento.

Para conceptualizar conocimiento y destreza veremos algunos ejemplos referidos a conocimientos basado en reglas:

- Aprender a manejar la alarma de una vivienda requiere conocer las reglas de funcionamiento. Cuando las conocemos manejamos la alarma sin dificultad. Ese tipo de aprendizaje no requiere práctica.

Cuando un aprendizaje se realiza sin necesidad de practicar decimos que no necesita destrezas.

- Para aprender a montar en bicicleta dos reglas son suficientes.

La velocidad de la bicicleta depende de la velocidad de giro de los pedales y la dirección del vehículo se controla girando el manillar.

En cambio, aprender a montar en bicicleta requiere **práctica**. Lo que se adquiere desde que ves a otra persona hacerlo hasta que lo haces tú es **destreza**.

- Aprender a leer requiere conocer las letras por su nombre y saber las reglas de cómo se pronuncian cuando se encuentran juntas. Pero desde que comenzamos a juntar las letras hasta que somos capaces de leer de forma automática, sin prestar atención a cómo se juntan las letras y comprendiendo el mensaje, debemos desarrollar una cierta destreza.

- Los oficios y las artes requieren muchas destrezas. Conocer el tono y la duración de las notas y silencios musicales es muy sencillo. Son reglas. En cambio adquirir la destreza suficiente para tocar el violín es una tarea muy difícil (**Imagen 8**).

- Considerar los casos de conducir un coche o pilotar un avión; requiere conocimiento por reglas y grandes destrezas que nos permitan llevarlo a cabo de forma intuitiva o aparentemente automática. Entre un conductor experto y un principiante no hay diferencia de conocimiento. Solo de destrezas.



Imagen 8. En la situación (A) la niña adquiere el conocimiento mediante las reglas del solfeo. En la situación (B), tras practicar, la niña puede adquirir cierta destreza tocando el violín.

¿Cómo se determina el conocimiento o la destreza que tiene una persona?

No se puede medir el conocimiento contenido en unas reglas o en un modelo; no existe una magnitud ni una forma de medirlo. Para aproximarnos solo se puede determinar la capacidad que tiene una persona de representar el modelo de la realidad correspondiente, esto nos dará información acerca del conocimiento que conlleva ese modelo.

Algo semejante ocurre con la destreza. Por esa razón tendremos que recurrir a la otra forma que tiene la ciencia, sobre todo las ciencias de la naturaleza, de tratar la realidad: la división en clases o clasificación. Para ello acudimos a la escala de Dreyfus.

Escala de destrezas

Los hermanos Dreyfus establecen diferentes categorías de destrezas en los procesos de aprendizaje. Los Dreyfus consideran que un ordenador nunca puede llegar a ser *experto*, pues su conocimiento se basa solo en reglas.

En esta escala la competencia se utiliza como un adjetivo que se aplica a la destreza del que aprende (alumno competente). Estas destrezas, en orden creciente, son las siguientes: novicio, principiante, competente, muy competente y experto.

El *novicio* puede aplicar reglas. Necesita supervisión para acabar cualquier tarea. Y no tiene referencia al contexto que le rodea. En el ejemplo que utiliza Dreyfus del aprendiz de conductor, el novicio puede arrancar el coche, poner primera, observar el velocímetro y poner segunda a los 20 km/h, acelerar y poner segunda a los 40 km/h, etc., pisar el embrague y frenar, no es capaz de parar bruscamente el coche sin calarlo. En los procesos de cambio de marchas no tiene en cuenta el contexto (si es cuesta arriba o cuesta abajo).

El *principiante* es capaz de analizar una tarea y dividirla en pasos sucesivos, aunque solo en tres o cuatro, puede modificar algunos pasos por referencia al contexto. En el ejemplo anterior, el conductor no cambia de tercera a cuarta si está adelantando a otro coche. Sabe que tiene que apretar el embrague para parar completamente pero no para disminuir la velocidad. Comienza a asociar la velocidad a la que debe realizar los cambios de marcha con el contexto (cuesta arriba o cuesta abajo). Es el conocimiento que se adquiere estudiando un libro de texto.

El alumno que llega a poseer destrezas a nivel de *competente* es capaz de analizar el problema dentro de su contexto en la mayoría de los casos. Es capaz de prever los pasos siguientes al que está realizando para modificarlo y acomodarlo de acuerdo al contexto. Se da cuenta de su falta de conocimientos o habilidades y procura adquirirlas. En el ejemplo del conductor, comienza a usar las marchas para acelerar más deprisa o para frenar en las cuestas abajo. Comienza a realizar las tareas sin pensar directamente cómo realizarlas (en segundo plano).

El alumno que llega a poseer destrezas a nivel de *muy competente* analiza el problema siempre dentro de su contexto. Nunca echa de menos conocimientos o habilidades. Las ha adquirido prácticamente todas. En el ejemplo del conductor, realiza todas las tareas en segundo plano y dedica toda la atención al contexto (estado del tráfico, comportamiento de los pasajeros, etc.). La forma de conducir es satisfactoria, juzgándola de forma integral (*holistically*), es decir, teniendo en cuenta la duración del viaje, las características de toda la jornada, etc.

El alumno *experto* ha llegado al final del proceso de aprendizaje. Ha adquirido una comprensión completa de los procesos, realiza la mayoría de las operaciones de forma rutinaria y con gran intuición. De acuerdo con Dreyfus, el *experto* no aplica re-

glas para resolver los problemas, sino que hace uso de su intuición entendida como el repertorio de casos que ha vivido y que forman una base de datos que le permite actuar rápida y eficientemente.

Por ello, de acuerdo con estos autores, no se puede reflejar el comportamiento de un *experto* en la programación de un ordenador, precisamente porque un *experto* toma decisiones aplicando heurísticos, procesos intuitivos, etc.

Nosotros creemos que los hermanos Dreyfus se equivocan en sus predicciones sobre el futuro de los sistemas expertos programados, pero su clasificación de destrezas es correcta y muy útil.

Como un ordenador requiere reglas bien establecidas, los autores citados llegan a la conclusión de que un sistema informático nunca puede llegar a comportarse como un *experto*. Cuando se pregunta a un *experto* por las reglas que aplica, se le obliga a retrotraerse a destrezas propias de las primeras etapas, donde no se aplica su conocimiento de *experto*.

Propuesta para diseñar el proceso de aprendizaje

A continuación exponemos, con apoyo gráfico, el método seguido por *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela*, en el diseño de los cursos a docentes. Este método constituye nuestra propuesta para que el docente diseñe el proceso de aprendizaje de sus alumnos, en función del grado de destreza que se desee alcanzar.

Para apoyar esta metodología utilizaremos el caso del ciclo del agua en la Tierra (**Imagen 9**).

Situaremos en el eje de ordenadas las etapas-categorías de destreza propuestas por los hermanos Dreyfus y dependerá del criterio del maestro qué categoría considera la más apropiada en cada caso. Es decir, elegiremos el grado de destreza que queremos que el alumno adquiera, que no siempre será el de experto.

Es evidente que el grado alcanzado dependerá del estado cognitivo del alumno, por ello, debemos añadir alguna referencia a dicho estado. Para introducir en nuestro estudio las capacidades del alumno utilizaremos un nuevo eje en el que señalaremos estas capacidades de alguna manera que consideremos apropiada. Nosotros hemos elegido las etapas de Piaget, pero cada profesor puede utilizar la que considere más oportuna.

El eje de abscisas no puede corresponder más que al tiempo que dura el proceso de aprendizaje que estamos diseñando. La curva de aprendizaje (azul) une los puntos inicial y final del camino, en nuestro ejemplo hemos añadido los conceptos que el alumno va aprendiendo hasta llegar al modelo del ciclo del agua.

Para terminar nuestra representación debemos señalar con una curva (rojo) el estado cognitivo *piagetiano*, modulado por las herramientas mentales que introduce Vigotsky (matemáticas, lengua, etc.), que se reflejan en un aumento de la capacidad cognitiva efectiva del alumno. Es evidente que esta curva debe estar por encima de la que señala el camino del aprendizaje. También es evidente que en el caso de la enseñanza a adultos esta curva solo se refiere a las herramientas mentales con las que cuenta el alumno (conocimientos de matemáticas, de psicología, de ciencia, etc.).

Como ejercicio proponemos a los docentes interesados que planifiquen alguna actividad como la de nuestro ejemplo, con otros temas.

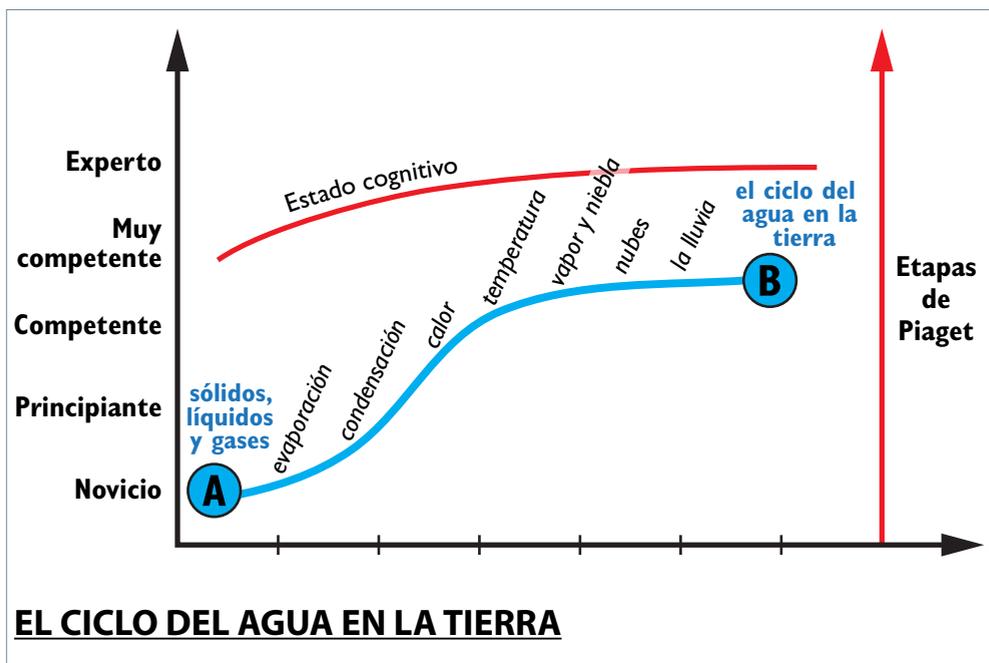


Imagen 9. Gráfica en la que se sintetiza nuestra propuesta para diseñar el proceso de aprendizaje del ciclo del agua en función de la escala de destrezas de Dreyfus y de las etapas de Piaget (ordenadas). La curva azul representa el camino del aprendizaje y se le han añadido algunos de los conceptos necesarios para entender el modelo científico del ciclo del agua. La curva roja viene a indicar el estado cognitivo efectivo del alumno.

Conclusiones

Tradicionalmente la resolución de problemas los empleaba el profesor para desarrollar el proceso de asimilación piagetiana en el alumno mediante problemas *ad hoc*. También constituía la herramienta esencial de evaluación (exámenes) en la que se comprobaba el grado de asimilación alcanzado. Este método acostumbra al alumno a exámenes en los que conoce de antemano el esquema que debe aplicar para resolverlos.

Los nuevos métodos de pruebas diagnósticas, que contemplan las ideas de la NOS (PISA), proponen ejercicios en las que el alumno tiene que decidir el modelo a utilizar entre los que conoce y, por supuesto, saber aplicarlo. Para ello el niño debería ser consciente de que el conocimiento que va adquiriendo está estructurado en datos, herramientas mentales (matemáticas, lenguaje, etc.), leyes de la naturaleza y modelos.

También existen otro tipo de pruebas que no se resuelven con los modelos y métodos que el alumno conoce y que intentan evaluar la creatividad (por ejemplo, determinar la suma de una serie aritmética de números), de los cuales trataremos en otro momento.

Debemos tener en cuenta que los avances filosóficos, científicos, artísticos, sociológicos, etc. siempre los realizan los pensadores marginales (Feyerabend, Galileo, Darwin, etc). Son una especie que merecería ser declarada especie protegida. El docente debe prestar especial atención en detectar las aptitudes creativas de sus alumnos preservándolas y desarrollándolas al máximo.

La multiplicidad de tipos de pruebas utilizadas para determinar el conocimiento que posee un alumno es el reflejo del hecho de que el conocimiento no es, por el momento, una magnitud (no disponemos de unidades ni de proceso para medirlo) esta era la situación del concepto de información a principios del siglo pasado; afortunadamente en la actualidad sabemos medirlo: su unidad es el bit cuyos múltiplos Byte, Kilobyte, Megabyte y Gigabyte son de dominio público.

No se debe dar la impresión, como es habitual en los libros del texto, que el método baconiano constituye la única forma de generar conocimiento científico; el maestro debe conocer la existencia de teorías científicas que no han seguido ese camino y son igualmente admitidas por la comunidad científica. Proponemos que la NOS constituya el marco estructural común a cualquier disciplina científica (desde la Historia a la Física) del currículo educativo.

Consideramos que el maestro es una figura clave para que el alumno se dé cuenta de cómo aprende y de los cambios que se producen en su mente.

En cualquier etapa cognitiva el aprendizaje implica procesos de metacognición, siendo consciente de cómo aprende, identificando herramientas mentales, conceptualizaciones y modelos.

El proceso de formar alumnos que lleguen a ser *expertos* implica ayudarles a que desarrollen su propia estructura *piagetiana*, construyendo el *esquema* apropiado y desarrollando los procesos de *asimilación* correspondientes a la disciplina de que se trate.

Para terminar, hacemos nuestras las palabras de Madhav Chavan, director del programa Pratham y Premio Fronteras del Conocimiento 2014.

Cuando los niños comienzan a aprender se dan cuenta de que poseen la capacidad de aprender y que pueden hacerlo mejor. Y el ser conscientes de esa capacidad constituye la motivación más poderosa para permanecer en el programa.

Referencias bibliográficas

BACON, FRANCIS. *Novum Organum. Filosofía Hoy. Los Grandes pensadores*. Globus. 379 pp. 1620.

BERGER STASSEN, KATHLEEN. *Psicología del desarrollo: infancia y adolescencia*. Panamericana. 704 pp. 2007.

BLOOM, HAROLD; MAN, PAUL DE; DERRIDA, JACQUES; HARTMAN, GEOFFREY; MILLER, J. HILLIS. *Deconstrucción y crítica*. Siglo XXI. 249 pp. 2003.

DREYFUS, HUBERT L. & DREYFUS, STUART E. *De Sócrates a los sistemas expertos. Los límites y peligros de la racionalidad calculatoria*. Estudios Públicos. N.º 46. 1992. [En línea]: <http://www.cepchile.cl/dms/archivo_1795_123/rev46_dreyfus.pdf> [consulta septiembre 2014].

EUCLIDES. *Elementos*. [En línea]: Euclides.org <http://www.euclides.org/menu/elements_esp/introduccion.htm> [consulta octubre 2014].

FEYERABEND, PAUL. *Tratado contra el método. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Tecnos. 344 pp. 1986.

FLICK, LAWRENCE B. & LEDERMAN, N. G. *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*. Contemporary Trends and Issues in Science Education. Springer. 476 pp. 2006.

GALILEI, GALILEO. *Astronomía: El ensayador*. 1623. Biblioteca Digital Mundial. Obras de Galileo Galilei. [En línea]: <<http://www.wdl.org/es/item/4184/>> [consulta octubre 2014].

GARDNER, HOWARD. *La Nueva Ciencia de la Mente: historia de la Revolución cognitiva*. Paidós Ibérica. 450 pp. 2004.

GÓMEZ DÍAZ, M.^a JOSÉ & LÓPEZ SANCHO, JOSÉ M. *El pensamiento divergente en el esquema de construcción de conocimiento de Piaget*. Serie El CSIC en la Escuela. Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula. N.º 9. Editorial CSIC. pp. 59-76. 2013. [En línea]: <<https://digital.csic.es/handle/10261/76185>> [consulta septiembre 2014].

GÓMEZ DÍAZ, M.^a JOSÉ & LÓPEZ SANCHO, JOSÉ M. *La investigación en el laboratorio y en el aula: diferencias y semejanzas*. Serie El CSIC en la Escuela. Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula. N.º 2. Editorial CSIC. pp. 45-50. 2011. [En línea]: <<https://digital.csic.es/handle/10261/75320>> [consulta septiembre 2014].

LEDERMAN, LEON MAX. *Leon Lederman interview. Teaching has always been important to me*. Academy of Achievement. Leon Lederman, PhD. [En línea]: <<http://www.achievement.org/autodoc/page/led0int-6>> [consulta octubre 2014].

LÓPEZ SANCHO, JOSÉ M. *Platón, Piaget, Kuhn y el conocimiento científico*. Conferencia. 2014. Ciclo de conferencias con motivo del 75 aniversario del CSIC. [En línea]: <<https://digital.csic.es/handle/10261/109764>> [consulta enero 2015].

LÓPEZ SANCHO, JOSÉ M. *La Naturaleza del conocimiento. Clave para entender el proceso de aprendizaje*. Serie Educadores. N.º 4. CSS. 72 pp. 2003.

MARTEL, FRÉDÉRIC. *Cultura Mainstream. Cómo nacen los fenómenos de masas*. Punto de lectura. 458 pp. 2012.

MORENO GÓMEZ, ESTEBAN; LÓPEZ SANCHO, JOSÉ M.; REFOLIO REFOLIO, MARÍA DEL CARMEN. *La estructura de las revoluciones científicas y el caso especial de la óptica*. Serie El CSIC en la Escuela. Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula. N.º 9. Editorial CSIC. pp. 37-58. 2013. [En línea]: <<https://digital.csic.es/handle/10261/76180>> [consulta septiembre 2014].

MORENO GÓMEZ, ESTEBAN; GÓMEZ DÍAZ, M.^a JOSÉ; LÓPEZ SANCHO, JOSÉ M.; REFOLIO REFOLIO, MARÍA DEL CARMEN; CEJUDO RODRÍGUEZ, SALOMÉ. *Resumen y Conclusiones de 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. <<http://www.csicenlaescuela.csic.es/pdf/jornadas/jornadas2014resumen.pdf>>.

National Science Education Standards. Science Education Resource Center. National Science Foundation. [En línea]: <<http://serc.carleton.edu/resources/1572.html>> [Consulta junio 2014].

PLATÓN. *Menón*. Platón, Obras completas Edición de Patricio de Azcárate. Tomo N.º 4, Madrid 1871. [En línea]: Proyecto Filosofía en español. <<http://www.filosofia.org/cla/pla/img/azf04275.pdf>> [consulta octubre 2014].

PIGET, J. *El mecanismo del desarrollo mental*. Editora Nacional. 177 pp. 1979.

PIGET, J. *Psicología y Pedagogía*. Crítica. 176 pp. 1969.

PISA. *Últimos informes y Publicaciones PISA. PISA 2015: Marcos teóricos*. Instituto Nacional de Evaluación Educativa. [En línea]: <<http://www.mecd.gob.es/inee/estudios/pisa.html>> [Consulta enero 2015].

POZO MUNICIO, JUAN IGNACIO. *Aprendices y Maestros*. Alianza editorial. 384 pp. 1999.

RUSSELL, BERTRAND. *The Analysis of Mind*. Lecture IX. 1921. Project Gutenberg [En línea]: <<http://www.gutenberg.org/files/2529/2529-h/2529-h.htm>> [Consulta septiembre 2014].

SKINNER, B. F. *Sobre el conductismo*. Ediciones Martínez Roca. 233 pp. 1974 [En línea]: Conductitlan.net <http://www.conductitlan.net/b_f_skinner/b_f_skinner_sobre_el_conductismo.pdf> [consulta septiembre 2014].

WERTSCH, JAMES V. *Vygotsky y la formación social de la mente*. Paidós. 264 pp. 1988.

El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela en República Dominicana



**M.^a José Gómez Díaz* y
Salomé Cejudo Rodríguez**

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

Palabras clave

República Dominicana, escuela, ciencia, formación, maestros, AECID, ISFODOSU, CSIC.

Resumen

Describimos cómo se ha iniciado la implantación del Programa *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* en República Dominicana, habiendo comenzado el primer periodo oficial de formación en la segunda quincena de octubre de 2014 con un centenar de alumnos entre docentes de futuros maestros y profesores en ejercicio.

Introducción

En el panorama actual el nuevo cometido de la escuela consiste en introducir la enseñanza de la ciencia desde las primeras etapas de la educación, intentado conseguir cambiar su paradigma tradicional para adaptarse al nuevo modelo de sociedad. Dado el carácter universal de la ciencia, como integradora de otras culturas, la cultura científica debe ser una seña de identidad en el siglo XXI.

La figura del maestro en todos los tiempos ha jugado un papel fundamental en la sociedad, no solo es el profesor quien presenta los conocimientos a sus alumnos, enseña, además y fundamentalmente, el valor de los símbolos, asocia valores a las diferentes pautas de comportamiento y ennoblece o envilece sentimientos y actitudes hacia el conocimiento. Los maestros son los que, junto con la familia, conforman su modo de pensar y de sentir, definiendo las señas de identidad de la cultura de los pueblos. Así, el amor por la ciencia, el aprecio por la cultura, la curiosidad por el saber y el gusto por resolver enigmas, como la mayoría de las pautas que

.....
* E-mail de la autora: mjgomez@orgc.csic.es.

conforman nuestro comportamiento y nuestra manera de concebir el mundo, se construyen cuando somos niños. Por ello, en todas las convulsiones de la historia, es a los maestros a los que más atención se presta.

Es conocido por todo el mundo que es en la etapa infantil cuando los seres humanos muestran más claramente su capacidad de aprender y su curiosidad por el mundo que están descubriendo. A este respecto, Einstein explicaba en una carta a su amigo James Franck, que *la razón por la que había descubierto los principios de la relatividad era, sin duda, que fue una persona de desarrollo tardío, para desesperación de sus profesores. Debido a este retraso, las preguntas sobre el tiempo y el espacio que todos los niños se plantean a edades muy tempranas, él se las planteó cuando ya había crecido y tenía a su disposición los conocimientos necesarios para resolverlas.*

El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela promueve la idea de que enseñar ciencia en los primeros niveles educativos es fundamental para estudios posteriores si se establece el método adecuado mediante el trabajo experimental. La relación entre investigadores y maestros que propicia la investigación en métodos didácticos para mejorar la calidad de la enseñanza de la ciencia, presentándola como algo cotidiano y entrañable en las aulas, es base de este Programa, que intenta estructurar los conocimientos científicos como una cultura propia capaz de integrar a todas las culturas que conviven en la realidad de las aulas.

La situación actual requiere de un profesorado muy preparado en cuanto a formación científica dado que ellos deben formar a alumnos cuya vida profesional se va a desarrollar quince años después, con el fin de que puedan responder al nuevo modelo de sociedad situada en los avances de la ciencia y de la tecnología.

En República Dominicana hay un interés actual por parte de las autoridades de mejorar la calidad educativa del país y es, por ello que, con el apoyo de la AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo) desde finales de 2013, se inició una colaboración entre *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* y el Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña (ISFODOSU) en República Dominicana con el objetivo de mejorar la formación científica de los maestros y de los futuros maestros y llevar así la ciencia a las aulas de Infantil y de Primaria de todo el país.

Es voluntad de todas las instituciones implicadas colaborar y ampliar esta tarea convirtiéndola en un referente en nuestra sociedad y en los países de habla hispana. República Dominicana responde a una voluntad política real por despertar el espíritu de la innovación y la actitud emprendedora de los nuevos ciudadanos.

El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela señala la realidad de un espacio común y operativo en el que colaboran maestros e investigadores, con el objetivo de enseñar el conocimiento en las aulas por métodos semejantes a los que se sigue en la investigación en los laboratorios.

Los maestros, los científicos y los niños se parecen mucho, pues todos tienen en común la curiosidad por el conocimiento, *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* investiga en nuevas metodologías para enseñar ciencia desde los primeros niveles educativos, teniendo en cuenta la etapa cognitiva de los alumnos.

Durante la formación del profesorado implicado en el Programa se facilitan contenidos y aplicaciones específicas para el aula con el fin de actualizar sus conocimientos científicos y aumentar sus recursos didácticos. Cuando el profesorado dominicano aplique los contenidos científicos en la escuela y tras la evaluación de los resultados obtenidos, sus experiencias se publicarán, al igual que se hace con los demás maestros formados con el Programa, en la página web de *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela*.

La experiencia concreta

La implantación de nuestro Programa en República Dominicana es una realidad integrada dentro de la acción complementaria «Ciencia en el Aula» (**Imagen 1**) del programa PAPSE II, para lo que se ha establecido un compromiso entre el ISFODOSU y *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* que se extiende hasta 2017 (con posibilidad de prórroga) con el objetivo de impulsar la formación científica entre el profesorado de Inicial (correspondiente a Educación Infantil en España), Primaria y primer ciclo de Secundaria de los maestros del citado país.

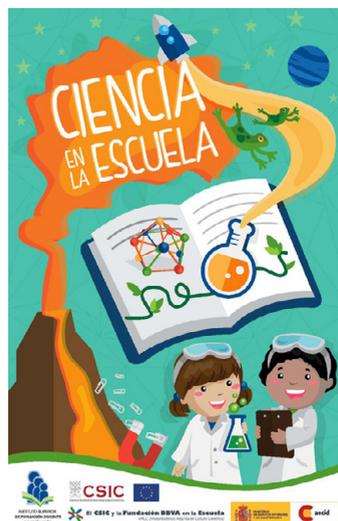


Imagen 1. Cartel informativo del proyecto con el nombre dado en República Dominicana.

En concreto se centra en tres objetivos: una formación científica y humanística presencial dirigida tanto a los docentes de los futuros maestros de los distintos recintos que el ISFODOSU tiene repartidos por todo el país como a los propios maestros en ejercicio que ya están trabajando en las escuelas, también de todo el país. La decisión de impartir formación a ambos públicos objetivos es doble: por un lado, para que los maestros en ejercicio puedan, desde ya mismo, poner en práctica lo que han aprendido con sus alumnos (desde los 3 hasta los 14 años e, incluso, más)

y asegurar así una futura generación científicamente más preparada. Por otro lado, para que los docentes de los futuros maestros puedan ir a la raíz del problema: la falta de formación de los maestros de esos futuros ciudadanos y con un efecto multiplicador aún mayor ya que cada docente imparte formación aproximadamente a una media de entre 200 y 250 futuros maestros.

Mediante este acuerdo (**Imágenes 2 y 3**) también se quiere establecer el nuevo currículo científico de formación de los alumnos del ISFODOSU, precisamente para incidir en el aspecto anterior y, por último, se facilitan los materiales didácticos adecuados para los maestros en formación y los necesarios para la actualización de los maestros que ya están en ejercicio.



Imagen 2. Firmantes del acuerdo. De izq. a dcha. Alfonso Aísa, representante del programa PAPSE II AECID-UE, M.º José Gómez Díaz, coordinadora de El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela, y Julio Sánchez Mariñez, rector del ISFODOSU).



Imagen 3. Representantes del CSIC y del ISFODOSU asistentes a la firma del acuerdo.

El primer periodo oficial de formación: del 13 al 23 de octubre de 2014

Ya en febrero de 2014 parte del equipo de *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* viajó a Santo Domingo con el fin de iniciar un contacto con el Instituto Superior Docente Salomé Ureña. El objetivo era dar a conocer y acercar a los técnicos del Ministerio de Educación Superior Dominicano, coordinadores de programación de distintas áreas del ISFODOSU, profesores de los futuros maestros y a los propios estudiantes de magisterio, la filosofía y metodología de alfabetización científica en la escuela propia del programa que tan buenos resultados da en nuestro país. La acogida fue entusiasta por parte de todos los agentes implicados y, tras la visita a España de una delegación del ISFODOSU encabezada por su rector, finalmente se concretó el proyecto de formación a tres años vista cuyo primer periodo se ha realizado en la segunda quincena de octubre. En este primer periodo *El CSIC*

y la Fundación BBVA en la Escuela ha llevado dos proyectos: el modelo molecular de la materia (**Imagen 4**) y el magnetismo (**Imagen 5**).

República Dominicana es un país con 10 millones de habitantes, lo que le hace muy asequible para implantar un programa como *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* cuya extensión ha crecido en progresión prácticamente geométrica. Los maestros en ejercicio provenían de las provincias con mayor densidad de población del país: San Cristóbal (con más de medio millón de habitantes), San Pedro de Macorís (unos 300.000), Santiago (908.000) y Santo Domingo Distrito Nacional (913.000) y Santo Domingo Este (1.817.000 habitantes).

Respecto a los docentes de maestros, se convocó a los diferentes Recintos que el ISFODOSU tiene repartidos por todo el país y que también están ubicados entre las provincias más densamente pobladas de República Dominicana: los Recintos Félix Evaristo Mejía (donde se impartió la formación) y Eugenio María de Hostos, ambos en Santo Domingo, Recinto Juan Vicente Moscoso en San Pedro de Macorís, Recinto Emilio Prud' Homme en Santiago y Luís Napoléon Núñez Molina en Licey al Medio y Recinto Urania Montás, en San Juan de la Maguana.

El alumnado ha sido de casi 40 maestros en ejercicio pero el efecto multiplicador es mucho mayor teniendo en cuenta que el número de niños total que estos maestros tienen en sus aulas es de aproximadamente 1300 y que cada uno de ellos va a llevar el proyecto de magnetismo o de modelo molecular a sus aulas bajo la coordinación de unas personas designadas por parte del ISFODOSU que supervisarán y organizarán su labor y les servirán de apoyo, en coordinación con el equipo de *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela*. Las edades se extienden desde los 2 años hasta incluso un maestro que imparte formación en la etapa secundaria con alumnos de 18 años, según muestran los datos recogidos a lo largo de los cursos. Estos datos revelan también que el porcentaje de varones es algo superior al de mujeres (648 niños y 574 niñas).



Imagen 4. Maestros experimentando con la tensión superficial.



Imagen 5. Momento del taller de modelo molecular.

Los maestros en ejercicio realizaron un gran esfuerzo: los que estaban en la capital, venían a los talleres después de realizar su jornada laboral. Los que provenían de fuera de Santo Domingo, fueron sus escuelas las que hicieron una gran labor para poder liberar a estos maestros para que pudieran recibir la formación durante las dos semanas que estuvieron asistiendo a los talleres. Los docentes de futuros maestros también realizaron un gran esfuerzo combinando, incluso, sus propias clases con la asistencia a la formación.

Con los datos obtenidos, *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* ha encontrado la primera diferencia con respecto a la educación en España: la diferente organización de la jornada de los maestros. Aunque se está comenzando a implantar la jornada extendida, en su mayoría los maestros se reparte en jornada diurna, de 8:00 a 12:15 y en jornada vespertina, de 14:00 a 17:30 h. Esto podría compararse con la jornada escolar partida en nuestro país pero la diferencia clave es que, mientras los docentes españoles responsables de un aula concreta, como sucede en Infantil, tienen los mismos alumnos, los maestros dominicanos tienen dos grupos diferentes: los alumnos de la tanda de mañana no son los mismos que los alumnos de la tanda de tarde, ya que las horas de escolarización obligatorias en República Dominicana son inferiores a las españolas.

Esto está cambiando en la actualidad en el país ya que hay una apuesta decidida a incrementar las horas de escolarización y a implantar las escuelas con la denominada jornada extendida, de 8:00 a 16:00 h, con el fin de mejorar la calidad de la enseñanza así como las propias condiciones tanto de maestros como estudiantes, junto con la condición socioeconómica de las familias, al poder pasar los hijos/as más horas en la escuela, según fuentes del propio Ministerio de Educación de República Dominicana. No obstante, esta implantación se está llevando a cabo poco a poco ya que conlleva una inversión y un cambio de modelo, en el que la formación de los maestros desempeña un papel muy importante, así pues, de momento, la realidad actual con la que nos encontramos sigue siendo la de las dos jornadas (matutina y vespertina) pero en trámites de cambio.

Valoración inicial del proyecto

La motivación de los alumnos (**Imágenes 6 y 7**) de los proyectos es máxima y así lo muestran las valoraciones que los maestros y docentes de maestros han plasmado en unas encuestas anónimas recogidas por los responsables del ISFODOSU. He aquí algunos ejemplos:

- «Ciencia en el Aula (nombre que se ha dado al Programa en el ISFODOSU) hace la ciencia más práctica y comprensible tanto para los docentes como para los estudiantes».

- «El Programa cambió por completo mi visión sobre la enseñanza de la ciencia en el nivel inicial».
- «Participar en estos talleres nos ha brindado una nueva plataforma para la reestructuración curricular y sobre cómo debemos enseñar la ciencia en las aulas».
- «¡Gracias! ¡Los niños SI pueden aprender ciencias!»
- «Significativa contribución a la educación dominicana que se reflejará en la mejora de nuestra práctica docente».
- «Me impactó la forma en que se pueden aplicar los nuevos enfoques del aprendizaje basados en el descubrimiento y el constructivismo».
- «Ahora entiendo la importancia de incentivar el aprendizaje de ciencias desde los primeros años».



Imagen 6. Grupo de El CSIC en la Escuela con los Coordinadores del ISDOFOSU.



Imagen 7. Grupo de El CSIC en la Escuela con los maestros en ejercicio.

Tras la formación presencial, hay un compromiso por parte de los maestros en ejercicio de llevar los proyectos al aula para lo que *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* aporta todos los medios online necesarios para una comunicación fluida y constante ante cualquier duda, consulta, etc., que pueda surgir al colectivo implicado, pues la finalidad es la publicación, en la web del programa, de los trabajos que estos maestros vayan a realizar en sus aulas dominicanas.

Además hay una motivación extraordinaria: en el próximo Encuentro Científico en Madrid, España, se va a contar con representación de alumnos/as dominicanos de Inicial y Primaria, junto con sus maestros/as y los coordinadores que hayan realizado el seguimiento de los trabajos en el aula de esa representación. En este Encuentro se les otorga el Premio Arquímedes a la Investigación Científica en el Aula cerrándose así la primera fase de la implantación del Programa en República Dominicana, habiéndose demostrado los resultados obtenidos en las aulas, que es condición indispensable para continuar con las siguientes fases. *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* no duda en que se llevará a cabo de manera entusiasta.

Proyectos futuros

El plan de formación, como hemos comentado, se extiende hasta 2017.

El siguiente periodo será del 1 al 15 de marzo de 2015 y los proyectos previstos serán *Arqueología del paisaje* y *Descubriendo la Naturaleza de la luz*. Previsiblemente, los alumnos (docentes de futuros maestros y maestros en ejercicio) serán los mismos y se extenderá a nuevos docentes, recibiendo todos la misma formación.

Es previsible una mayor implantación del programa *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* en República Dominicana mediante la colaboración estrecha entre científicos y maestros lo que contribuirá a una mejora de la calidad educativa, finalidad por la que apuestan las autoridades educativas de manera decidida.

Recursos complementarios

EL CSIC en la Escuela. *Formación del profesorado*. [En línea]: <<http://www.csicenlaescuela.csic.es/>> [consulta: diciembre 2014].

El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela inicia la primera fase de formación científica en República Dominicana. [En línea]: <http://www.csicenlaescuela.csic.es/pdf/repdom_csicfbbaescuela.pdf> [consulta: diciembre 2014].

Instituto Superior Docente Salomé Ureña. [En línea]: <<http://www.isfodosu.edu.do/portal/page/portal/isfodosu>> [consulta: noviembre 2014].

Ministerio de Educación. Gobierno de República Dominicana. [En línea]: <<http://www.minerd.gob.do/Pages/inicio.aspx>> [consulta: noviembre 2014].

Aecid. Oficina técnica de Cooperación. Embajada de España en República Dominicana. [En línea]: <<http://www.aecid.org.do/>> [consulta: noviembre 2014].

Programa de apoyo presupuestario al sector de Educación de República Dominicana. [En línea]: <<http://www.papse2.edu.do/index.php/papse-ii>> [consulta: noviembre 2014].

Referencias bibliográficas

LÓPEZ SANCHO, J. M.; GÓMEZ DÍAZ, M. J.; REFOLIO REFOLIO, M.ª C.; LÓPEZ ÁLVAREZ, J. M. *Magnetismo en el Aula*. Material didáctico para profesores de Educación Infantil y Primaria. Consejería de Educación. Dirección de orientación académica. Comunidad de Madrid. 2005. 170 pp.

WIKIPEDIA. República Dominicana. [En línea]: <http://es.wikipedia.org/wiki/Rep%C3%ABlica_Dominicana> [consulta: noviembre 2014].

The teaching of science at the earliest stages of education. The Comenius project «discovering the world: developing skills through experimentation and exploration»¹

La enseñanza de la ciencia en las primeras etapas de la educación. El proyecto Comenius «Descubrir el mundo: el desarrollo de capacidades a través de la experimentación y la exploración»¹

Anna Widajewicz

Przedszkole no 34. Bydgoszcz (Poland)

María Ruiz del Árbol*

Instituto de Historia (CCHS-CSIC)

Ewa Tomasiak

Przedszkole no 34. Bydgoszcz (Poland)

Keywords

Science, interdisciplinarity, teacher's formation, international cooperation, Comenius

Palabras clave

Ciencia, interdisciplinarietàad, formación del profesorado, cooperación internacional, Comenius

Abstract

The Comenius project *Discovering the world: developing skills through experimentation and exploration* (September 2013–June 2015) is being carried out by five cooperating countries (Poland, Estonia, Lithuania, Spain and Turkey) within the Comenius Multilateral school partnerships actions. The fundamental aim of the project is the teaching of science at the earliest stages of education (from 3 to 7 years old). This paper has the aim of presenting the project, its design, materialization and evolution. Moreover, we will stress the key role that the programme *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* has played to improve project's aims and philosophy. The paper concludes with several considerations on the development of the project and its first results. We will also stress the relevance of both the cooperation between teachers and scientists and the overall formation of teachers in science matters.

Resumen

El Proyecto Comenius *Discovering the world: developing skills through experimentation and exploration* (septiembre 2013–junio 2015) se lleva a cabo gracias a la cooperación entre cinco países (Polonia, Estonia, Lituania, España y Turquía) en el marco de las acciones Comenius Multilateral school partnerships. El objetivo principal del proyecto es la enseñanza de la ciencia en las primeras etapas de la educación

.....
* E-mail de la autora: maria.ruizdelarbol@cchs.csic.es.

(desde los 3 a los 7 años). Este trabajo tiene como objetivo presentar el proyecto, su diseño, materialización y evolución, poniendo el acento en el papel fundamental que el programa *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* ha jugado desde sus comienzos, mejorando los objetivos y filosofía de nuestro proyecto. El artículo concluye con algunas consideraciones sobre su desarrollo y primeros resultados. Subrayaremos además la relevancia tanto de la cooperación entre profesores y científicos como la necesidad de una formación global de los profesores en cuestiones relacionadas con la ciencia.

Introduction: the origins of the project

The project *Discovering the world: developing skills through experimentation and exploration* (the acronym of the project is «*Discovery Programme*») is funded by the Lifelong Learning Programme, under the sub-programme Comenius, in the framework of the actions known as «Comenius Multilateral school partnerships». Our project, the *Discovery Programme*, has been developed since September 2013. Thus, when writing this paper, half of the project has been already accomplished.

The main aim of the *Discovery Programme* is to explore the possibilities of the teaching of science at the earliest stages of education (from 3 to 7 years old). Through this project we want to explore the ways to inculcate the desire of discovering, questioning and experimental understanding of the world among children. Moreover, the project envisages expanding children's ability to critical and logical thinking and testing their hypothesis through several experiments. We expect it will arouse the desire to acquire the technical and scientific competence among children, which will give them the opportunity to awaken an inclination for lifelong learning and even to include research into their future options for career development.

Why a Comenius project about the teaching of science

Young children are very curious, energetic, full of ideas and willing to explore the world around them. They are in the age when most of things surrounding them are new and fascinating. Nowadays in times of evolving technology, where everything is focused on passively receiving certain amounts of information, we would like to give children a chance to take active part in the process of discovering the world.

From the beginning we considered that a way of doing that was introducing the teaching of science in the early stages of education. According to previous experiences² this is the age when you can start teaching children scientific thinking through asking questions, posing hypothesis and verifying them through self-expe-

rimentation, research and exploration. Many studies³ show that science teaching is an excellent tool for the global development of child, increasing its curiosity and critical abilities. Preschoolers' period is the age in which science concepts are naturally acquired; it is the critical age in which a way of thinking and a scheme of values are being formed. It is also the age when children began to socialize⁴.

Besides these ideas, other considerations were included in our comenius project. Firstly, science concepts are fundamental for the formation of a European spirit, because science is at the basis of our culture, and it doesn't opposes to personal choices or different believes. Secondly, teaching of science for young children promotes the participation of teachers and parents in the process of learning: teachers have the responsibility of communicating and developing love for science and of preparing the children for the world they are going to live in; similarly families need to have a very active role in this process. Furthermore, attractiveness of activities included in the project will increase teachers and parent's motivation to get involved into the children's teaching process. Also advancement of children with educational special needs proceeds by the same rules as kids without special needs, giving them opportunity to participate in all project activities and helping them to stimulate their overall development⁵.

Furthermore, the different partners within the project pointed also other motivations in the proposal, such as:

- The project would play a great role in children integration. In previous years one of the participating kindergartens was taking part into e-twinning projects, so getting involved into a Comenius partnership would allow them to establish direct cooperation with other schools, thanks to which pupils will get better opportunity to get to know culture and customs of other countries, improve their language skills and developing their interests.
- The participation in a Comenius project would help teachers to improve their international experience and capacities for presenting and sharing new interesting ideas and experiments to their own students.
- Comenius projects are an opportunity to increase the interest of the children and their families to other nations, countries and cultures. Moreover, the background of some of the participating kindergartens is very poor (low economic level) so the project was found as a way of broaden the minds of the children and their families and increase their motivation towards this «special» international relationship.

- Participants agreed that international cooperation will also allow us to discover the rich amount of approaches and tools to improve our work with very young children. Among these abilities it was pointed out that we will also ameliorate our language skills (English and less common foreign languages), and our usage of computer technologies.
- Last, but not least, through cooperation the participating schools will perform several tasks such as experiments, art, crafts, and painting. The final products will be a way of intercultural dialogue and mutual exchange and will serve as a basis for future development and dissemination of the results of the project.

Origins and philosophy of the proposal

The origin of the idea stands at the collaboration established by the CSIC⁶ with the P34 in Bydgoszcz. As teachers, our previous concerns about the relevance for the initiation of preschool children to science encountered serious difficulties to be materialized. There was a huge amount of bibliography and books describing experiments and the way to experiment with children but none theoretical approach was known to us to be sure that this experiencing with children would be productive. The collaboration with the CSIC was crucial at this stage for the programme *El CSIC and la Fundación BBVA en la Escuela* was from the very first moment, willing to help and to be a scientific assessor of our Comenius project if funded.

During the construction of our proposal we also analyzed previous experiences and we studied the areas already explored by other Comenius projects (we did so by accessing the Comenius web page and studying, one by one, those projects related to the teaching of science). We discover that, though there is a serious concern about introducing children to science, this is done normally from the Secondary School. Also, there is a considerable gap between the proposed teaching activities and the implemented curriculum in the different European countries involved in the Comenius multilateral projects. The experience of *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela*⁷ was very valuable also in this sense, for this program insists in the integration of science teaching into the activities of the several schools involved.

Last, but not least, our concern was about understanding science in a global way, that is, integrating the interdisciplinary nature of science from the very beginning. Traditional approaches on science focus on natural sciences. However, preschool education encompasses many different aspects, combining and integrating them. Accordingly our project focuses on experimentation and science and understands these in a broad sense. Our activities are not only reduced to «traditional» areas of science such as chemistry, physics or biology but take history, archaeology, music and art under consideration as well.

The discovery programme

Main aims and specific goals of the project

As expressed above, the main aim of the project is to give very young children an opportunity to learn science. The project wants to inculcate the desire of discovering, questioning, and experience the world among children. They will observe processes occurring in their environment, their cause and effect relationships; they will perceive the world in a global perspective; they will expand their ability to critical and logical thinking and test their hypothesis. As already pointed, we expect that the project will give children the fundamental basis to awaken an inclination for scientific thinking and lifelong learning. Teachers and parents have an active role in the project, transmitting the necessary attitudes and knowledge to develop love for science. Within this background, the concrete objectives of the partnership are:

- To create rich database of experiments for use in educational partnerships and exchange of experiences between different institutions as a means of acquiring the technical and scientific competence.
- To expand children's abilities to critical and logical thinking, including those with special educational needs.
- To stress the need of including, in the very early phases of educational programs, the teaching of science in its whole complexity, stressing the interdisciplinary character of science (that is, including not only the «traditional» and 'hard' subjects, such as physics or chemistry, but also the social and human sciences, such as art, music, history, archaeology).
- To widening the horizons of experience science in the educational community (teachers, pupils, parents).
- To promote equality between girls and boys, men and women, by involving them equally in the different planned tasks. The project choose relevant male and female figures of European science (Marie Curie, Albert Einstein etc.). That aims to confront the traditional view of male scientist in education and career among children.
- To enrich teachers competence to teach science at very early stages of education.
- To have better knowledge and use of Internet technologies (e-mail, skype, Power Point, websites).
- To promote the learning not only English but also other, less common foreign languages.

The objectives mentioned above are related to the main subject that we intend to address through this project, that is how to stimulate cognitive development among young children, more and more threatened by the passive reception and sometimes uncontrolled assimilation of information (TV, internet). The objective is to push young children to be self-critical and to get a logical thinking, awake their curiosity about the world, questioning reality, by encouraging them (and their parents) to pose hypotheses, verify them and solve problems.

To achieve the objectives our project focus on experimentation (see below), as the axis of the different tasks designed and basis for collaboration and communication. Experiments are articulated into different areas of science (i.e.: magnetism related to physics; excavation related to archaeology). Science is based on creativity and independence of criteria and our project is inspired by the activity of scientists, its way of seeing the world, its procedures and its language. Basic in the strategy of the project is that we rely on the experience and expertise of several scientists specialized in the teaching of science at the early stages (as pointed above, our main reference is the work of *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela*).

The social background: the partners

As stated above, the *Discovery Programme* is being carried out by five cooperating countries. The collaborating countries are Poland, Estonia, Lithuania, Spain and Turkey. All of them are engaged with the public teaching of children between the ages of 3 and 7 years old.

The coordinator of the program is the Kindergarten no 34⁸, a public institution situated in the suburbs of Bydgoszcz. Bydgoszcz is a city in northwestern Poland, the eighth biggest of the country (**Image 1**). The kindergarten receives Polish and foreign children from 3 to 6 years old (at present there are children from Bulgaria, Spain, Estonia, Slovenia, Korea and Belarus attending the kindergarten) and it has several groups in which children are studying English as a second language on the basis of educational innovation⁹.



Image 1. View of the Kindergarten no. 34 (P34).
At the window on the entrance there is the comenius display.

The team from Estonia belongs to the Asunduse Kindergarten¹⁰. This school is located in close proximity to one of the best known and prettiest places in Tallinn: Kadriorg. Children from 2 up to 7 years attend this kindergarten. Teachers are using mostly Step by Step teaching method: adults are creating different options for children activities by rearranging group rooms in daily basis. Children have been given opportunity to be creative and individual and they have possibility to make choices according to their skill and interests.

The Spanish team is led by the Colegio Público Beriain (Public School Beriain)¹¹. The school is located in a small village, 10 minutes-drive from Pamplona, the capital city of the Navarra region. The school hosts around 300 children whose age ranges from 3 to 12. They belong to different social backgrounds and cultures (Spanish, south-American, Arabian, African). The school is bilingual, which implies that some areas are taught in English. In addition the children have the option of choosing a third language: Basque. There are 6 groups in the kindergarten (from 3 to 5 year old). In each class there is a Spanish and an English teacher.

Yıl Zübeyde Hanım Anaokulu is the Turkish partner¹². The school is situated in the center of Tokat province. With 200 students, the pupils are aged between 3 and 6 years. The school aim is to develop students' cognitive, social-emotional, language and self-care skills. There are both economic and cultural differences among the students. During education training with the help of Comenius project, an important task is to make students gain awareness of respect to different cultures.

The fifth participant in the project is the Kėdainių lopšelis-darželis «Žilvitis», from Lithuania¹³. Kindergarten «Zilvitis» is a heart of cultural society and a center of social work of the micro-district at Kedainiai. The educational process is organized according to the programme which was certified by the Republic of Lithuania. The kindergarten works in the trend of artistic education of children and plays the decisive role in the rendering to of values of the ethnic culture to children. A big attention is being given to fortify children's health also to the communication which families. This kindergarten had a previous experience in a project of the Lifelong Learning Programme¹⁴.

Working plan and organization of the activities

The project is articulated into different actions and activities, with their corresponding periods of realization and deadlines. The main work within the project is the realization of experiments in several chosen areas: water, magnetism, plants, colours, archaeology, air, sculpture, sounds, and magnifying glass. These thema-

tic areas articulate the work of the partners during, at least, one week every two months. Besides the conduction of experiments in several areas other important linchpins for the progression of the project are:

- Working meetings: five working meetings are planned within the project (to date Estonia, Spain and Poland have been the hosts of these meetings).
- Working on a famous figure (male and female) from the scientific field of every country within the project.

The project implies also dissemination activities, such as the webpage, or a periodic newsletter for parents.

All partners have equal number of tasks and every single task has the same value to the project. The coordinator of the project is constantly in touch with other responsables at partner schools. However each partner has an equal voice in all final decisions.

The cooperation is based mainly on electronic communication (e-mail, skype, and website) though, as stated above, regular visits were planned within the project. Whole cooperation is conducted according to the planned schedule approved for the project and monitored through a chart of tasks (created by all partners) to make work more efficient.

Every contact person at each school is responsible for organizing the work inside their institution, and coordinating the process of preparing and sending materials to be shared with other schools as well as showing the rest of the staff and pupils the ones received from other partners mostly through the website.

Development of the project

The project started on September 2013. According to the approved programme the first two months (September and October 2013) were devoted to its launching. Two contemporary actions were done. First of all, equipping the libraries of the partner schools with books and other material related to the research and experiments appropriate for young children. A chest of treasures was created in every school, with materials, utensils and tools required for children's self-experimentation to awake their interests in science. Secondly, a first dissemination of the project was established. Essential to that has been the posting of a website with information about the project and the creation of a newsletter for parents and local community informing them about planned activities related to our Comenius project. Also, the schools

organized several presentations of the project. Crucial at this stage was the elaboration of a chart of tasks presenting every planned action for each partner to make a clear picture of tasks and months in which they take place.

A linchpin of this early stage was the visit of M.^a José Gomez, coordinator of the program *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* to Bydgoszcz. During her stay a session of formation about magnetism was organized (**Image 2**). It was divided in two parts: a theoretical one, with the contents and the rationale of a class on magnetism for young students; and a practical one, in which teachers could experiment to have better understanding of tasks related to the phenomenon of magnetism. It was attended by teachers from several kindergartens in Bydgoszcz and by the person in charge of the Board of Trustees¹⁵. This lecture was crucial, for two important issues raised from the very beginning of our project:



Image 2. Photograph of the formation session of M.^a José Gómez at P34.

- The formation of teachers is basic in the teaching of science.
- Teaching science is something more than to make experiments with children. That is, without a rationale and specific objectives, oriented by experts, experimentation with children has no sense, or even it is a waste of time.

With these ideas in mind the first meeting of the project, organized by the Estonian partner was held in Tallinn in November 2013. This meeting was very important: it was the first time the partners had met. The basic organization of the project was settled and exchanging of previous experiences made the meeting very fruitful.

The organization and articulation of activities within the project

Since that first meeting, the development of the project has been articulated around several activities. To date the subjects developed at every partner school have been water (December 2013–January 2014), magnetism (February 2014–March 2014), colours (May 2014–June 2014), archaeology (September 2014–October 2014), air (November 2014–December 2014). Further work in other areas will be developed in 2015 (sculpture and sounds).

The activities have a similar structure whether the subject is air, magnetism or archaeology. Previously to the development of the activities in the classrooms teachers research the area, discuss the activities and experiments that could be done, and decide which one they will conduct with children. During a selected week (every country decides their own dates) different experiments are conducted in the institutions of participating countries. All the performed actions are documented and described (with a written description, photos, and video). After the experiments children are requested to perform works of art associated with the things they have learnt (**Images 3 and 4**).



Image 3. Image of the development of one of the experiments about magnets.

Performed activities are posted on the web site of the Comenius project, and also a glossary of terms in partners' native language related to every area is created and posted on the same website. Moreover, at the end of the project, a booklet with selected experiments (5 for each area) by different partners will be published and disseminated through the web.



Image 4. Experiencing with water.

Besides these activities, twice during the project (March 2014 and May 2015) the countries work with a famous male and female character, a relevant person in the science development —each country chooses on their own. Poland, as an example, has already worked on Nicolas Copernicus and is planning to work on the figure of Marie Skłodowska-Curie.

Two other meetings (in Spain, April 2014 and September 2014 in Poland) were organized. An intermediate evaluation was done in Poland. June 2014 was chosen for an open day display in the different partner schools.

These activities within the project are of course integrated into ongoing activities at different partners' schools. In fact, the activities described are carried out regularly throughout the school year. However, ways to bring the children closer to the animate and inanimate nature around them are different. In every country there is a need for a flexible model of education tailored to individual needs and abilities of children (pupils) especially in the field of technical and scientific skills, which have the potential to guide the development of children in their future careers. All partner institutions are interested in enrichment of these methods, because they ensure children's development, foster scientific interests and show that learning can be great fun.

The internal evaluation of the project development

Each partner school is responsible for developing and direct evaluating their activities. However, in each report (one report for activity) each partner must specify its methods and procedures, by the design of an evaluation form addressed to teachers, parents and the local community. The evaluation form relates to every experience developed with the children and also includes their views.

The coordinator of the project (Poland) is the responsible for the development of a synthetic approach to the different evaluation forms proposed and will create a unified evaluation form which, once approved by the partners, will serve as main basis for evaluation and will allow results to be compared and shared. In any case, and to avoid processing the enormous amount of data, samples of the different participating schools will be used to produce the reports on the activities.

An intermediate evaluation has been done at the meeting at the end of the first year of project (during the meeting held in Bydgoszcz, September 2014) and has provided enough criteria to allow the project to be adjusted for the second year according to the outcomes of the evaluation process.

The final evaluation will be done at the end of the 2nd year (June 2015) and will focus in the achievements as well as in the difficulties we have encountered. A balance about the degree of achievement of the main goals will be presented as well what the participants (teachers, kids, parents, scientists) have learned during the project. This will allow suggesting future ways of cooperation and use of results.

The outcomes of evaluation procedure (partial activities evaluation, intermediate and final) will be available at the web page of the project and at the webs of the participating schools providing evidence of the work done. Also, as mentioned above, a booklet with the synthesis of the project results will be edited.

Concluding comments

Nowadays we are at the time of increasing awareness of the benefits of teaching science to very young children. Programmes such as the Spanish *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela* or the French *La Main la Pate* have been leaders in such enterprise. Our project wants to contribute to this efforts by developing practical experiences that will serve as an inspiration and as an example for other teachers. We expect that the results of this project will be taken by other European schools as example of good practices that can be disseminated as such. In fact our cooperation work includes development of common working methodologies, production of practical resources for teaching, implementation of a cooperation network between the schools of our countries.

During the first year of our project we have identified different benefits of teaching science to kids. We have noticed that experimentation is an appropriate bridge to join the different and distinctive groups of our local communities, such as families, teachers, scientists, students. Moreover, the partnership and cooperation activities are already having a high direct impact in all participants of the project.



Image 5. Teachers at P34 magnet formation session.

In the case of the participating institutions, they share a common project, but they deal with different social, economic and educational realities. Travelling and cooperating is enriching individual school experiences. Schools exchange good practices. The project is giving an added value to the activity of the schools and thus more prestige.

The internal cooperation and coordination of the staff is also being improved through the involvement in the project (**Image 5**). The project is providing more formation to the teachers, who are enriching their curriculum vitae and experience. Also, it is of course an opportunity to meet interesting people and travel out of their frontiers.

The impact of the project in the children is great. We can point to several appreciations:

- Children broad their horizons gaining knowledge of science. This promotes their desire to explore the world on their own (making them more active).
- They are able to understand and conceptualize better the mechanisms of cause and effect relationships that occur in their environment (making them more critic).
- They gain the confidence to challenge the reality, which will result in their further cognitive development (making them more independent).
- Kids with special needs are integrated into the activities, supporting their development through different experiments and discoveries (breaking barriers). In some of the partner schools it was observed that hyperactive children are better integrated in the classroom during the realization of the experiments (they are more focused on the task than during normal lessons).

However, some difficulties arose during the development of the project. The most important of these is the lack of formation of the teachers in science teaching. Some of the activities —for which we had not any scientific assessment— were prepared without a theoretical background and experiments (aims and procedures) were chosen following our intuition. This was the case —in our P34 kindergarten— when preparing the activities related to the area of colours. In that specific case we had problems to decide if the experimentation with children should be focussed more on mixing colours (colour formation) or on issues related to optic (light and shadow). Finally we decide to work on both aspects (experiencing with a prism, mixing basic colours, making secondary colours) from a practical point of view.

Despite these problems, as well as noticing that more institutional resources and support are needed to fulfil this gap in our European teaching systems, we believe there is an urgent need for starting the teaching of science at the very early stages of education, for it helps the general children's cognitive development.

Acknowledgements

The cooperation between P34 and CSIC has been possible thanks to the research stay of Maria Ruiz del Árbol in the University Adam Mickiewicz (Poznań) during the academic years 2012-2015, funded by the CSIC. Thanks are also given to the University Adam Mickiewicz in Poznań, especially to the Institute of Prehistory and Professor Arkadiusz Marciniak, who hosted Maria Ruiz del Árbol. They also supported the visit of M.^a José Gómez and facilitate her conference on the cognitive

aspects of learning at the Faculty of Philosophy. We would like also to thank the team of the *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela*, to José M.^a López Sancho and M.^a José Gómez, that, from the very first moment, supported our project and shared their expertise with us. They gave also us the opportunity of travelling to Madrid to the *V Scientific meeting between kids, teachers and researchers* (Madrid, 27.05.2014) and of having several formation sessions with them.

Text references

1. Project funded by the COMENIUS Multilateral school partnerships (2013-I-PLI-COM06-385781).
2. A good reference of the excellent results achieved through the teaching of science at preschool and school is the work that every year is awarded through the «Premio Arquímedes» to the best research work at schools (<http://www.csicenlaescuela.csic.es/premio.htm>).
3. Interesting references can be found in the *European Early Childhood Education Research Journal* or in the *International Journal of Early Years Education*.
4. See the works of JEAN PIAGET: *The early growth of logic in the child* (London: Routledge and Kegan Paul, 1964) or with INHELDER, B., *The Child's Conception of Space* (New York: W.W. Norton, 1967). A very good synthesis of the nature of knowledge is the book by JOSÉ M. LÓPEZ SANCHO, *La naturaleza del conocimiento. Clave para entender el proceso de aprendizaje* (Madrid: CCS, 2003).
5. As we will point out further in this paper, this aspect of the Project has revealed very interesting. Teaching of Science to small children is especially fruitful in the case of children with special needs, such as hyperactive children.
6. Thanks to a research permission, funded by the CSIC, to María Ruiz del Árbol.
7. <http://www.csicenlaescuela.csic.es>.
8. www.przedzskole34.bydgoszcz.pl.
9. The learning of English language is integrated in the normal life of the school. The English groups are managed by two teachers of Polish and one teacher of English. The teacher of English pretends as if she doesn't understand Polish and encourages children to communicate with her in a foreign language. Beside this P34 offers extra classes such as eurhythmic classes, dancing classes, modeling clay, English classes for children attending to groups without English teacher, speech-therapy, and physiotherapy exercises. One interesting tradition of the kindergarten is to organize national weeks during the school year, during that time children have opportunity to know other countries and their cultures. This plays a great role in children integration.
10. <http://www.asunduse.tln.edu.ee>. The Estonian participation is coordinated by Mrs. Siiri Kliss, Speech and language therapist. Asunduse kindergarten is comprised of two small houses. One of the houses has four groups and other one has five groups. Those relatively small houses are creating a homely atmosphere for children. Between the houses there is a big and varied yard area. One of the groups is mixed with children with special needs. In groups there are also kids whose mother tongue is not Estonian. Teachers are helping them to adapt to Estonian environment. Important keywords in

kindergarten are individualization and considering children development level. Each group has two teachers and one assistant. In addition to group personnel there are: a music teacher, a physical development teacher and a speech therapist.

11. <http://centros.educacion.navarra.es/cpberiaian/web>. The coordinator of the team is Izaskun Ongay (teacher and language coordinator). Every year the whole school community likes to share a common project, during a month. Last year this common project was about the Olympic Games and the school year was closed by celebrating the own school Olympic games. At Beriain school there is a stress on the importance of the values in the educational process. For several years they have been elaborating their own «coexistence curriculum». The whole school community is very conscious of it and takes into account all the ways of dealing with conflicts, fears and emotions.

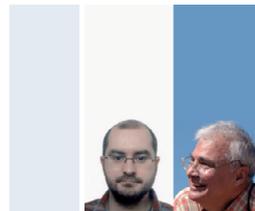
12. The Turkish coordinator is Mrs. Hatice Öğreden, vice-manager of the School.

13. www.kedainiaizilvitis.lt. Coordinator of the Lithuanian team is Mrs. Regina Jasinskiene, main teacher of the school. Every year the institution has the so-called «Theatre days». At the kindergarten also work a Pop – choir «Singing Crikets», the folk ensemble «Zilviciukai», the dancing society, the English language society, the club of sport's «Football». Also, a methodical club of teachers is on place.

14. The project «European Children Celebrate» (LLP-COM-DP-2009-LT-00).

15. During her stay in Bydgoszcz she also gave a lecture at the University Adam Mickiewicz about the cognitive aspects of learning.

Las líneas de fuerza de Faraday: una representación mental muy útil en la enseñanza



Esteban Moreno Gómez*

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

Palabras clave

Faraday, campo, magnetismo, líneas de fuerza, modelo, herramienta mental, enseñanza.

Resumen

En este trabajo presentamos el nacimiento de uno de los modelos más importantes en la historia de la física, el de las líneas de fuerza de Faraday, que fue utilísima herramienta mental en las investigaciones de Maxwell sobre la naturaleza de la luz, la relatividad de Einstein y el actual modelo de campos. Intentaremos, pues, describir la imagen mental que empleó Faraday para reducir las fuerzas a distancia que aparecen en masas, cargas y polos magnéticos a un modelo de fuerzas mecánicas, cuyo conocimiento intuitivo estaba generalizado en su época. Es, en realidad, la segunda parte de una publicación anterior en la que presentábamos un nuevo instrumento, muy sencillo, que ayuda a materializar las líneas de fuerza de Faraday, para las que los seres humanos no disponemos de sentidos, y que constituyen la única representación de un campo, sea cual sea su naturaleza.

Introducción

La idea de que la historia de la ciencia sigue la senda del constructivismo no solo es aceptada por los historiadores de la ciencia sino que la sucesión de conceptos, definiciones y modelos se toma como paradigma del método constructivista. Igualmente extendida está la idea de la utilidad didáctica de conocer modelos científicos que han sido superados. Si bien en algunos casos puede resultar superfluo para los alumnos siempre es útil para los profesores ya que permite evitar explicaciones erróneas y caminos sin salida que se han dado, en muchas ocasiones, en la historia de la ciencia.

.....
* E-mail del autor: esteban@orgc.csic.es.

Los cambios de paradigma, cuyo conocimiento es imprescindible para los que se dedican a la actividad docente, muestran la belleza de los resultados de la creatividad humana y los difíciles procesos de aceptación por la sociedad de las nuevas ideas, como nos explica Kuhn cuando estudia la estructura de las revoluciones científicas.

En este segundo escrito sobre la materialización y modelización del campo magnético profundizaremos en el modelo mecanicista de línea de fuerza utilizado por Faraday como herramienta mental en sus investigaciones.

Breve historia del magnetismo

Los efectos de los imanes sobre los materiales ferromagnéticos fueron descritos por Tales de Mileto en el siglo XI a. C., tan solo doscientos años después de la guerra de Troya. Platón también hace alusión a las propiedades de la piedra imán en sus escritos poniendo en boca de Sócrates la descripción de una de sus extraordinarias propiedades (**Imagen 1**):

Esta piedra no solo atrae los anillos de hierro, sino que les comunica la virtud de producir el mismo efecto y de atraer otros anillos, de suerte que se ve algunas veces una larga cadena de trozos de hierro y de anillos suspendidos los unos de los otros, y todos estos anillos sacan su virtud de esta piedra.

En el siglo I d. C. el historiador y divulgador Plinio el Viejo, contemporáneo de Julio Cesar y Cicerón, nos introduce en el mundo de los efectos magnéticos utilizando un cuento, el del pastor Magnes, en el que unas misteriosas piedras negras atraen los clavos de las botas del pastor y los cencerros de las ovejas, hechos de hierro. Por esa misma época Tito Lucrecio Caro describe en su poema *De Rerum Natura (La Naturaleza de las Cosas)* que ha visto moverse trozos de hierro dentro de un recipiente de bronce cuando en el exterior se movía un trozo de piedra imán, poniendo de manifiesto que las propiedades magnéticas atraviesan los materiales no magnéticos.

Pero Lucrecio, además, observa que *algunos trozos de hierro que han permanecido en contacto con la piedra imán adquieren las propiedades de esta de forma permanente*, describiendo por primera vez en la historia un procedimiento para construir imanes.



Imagen 1.
Magnetismo por inducción.
Modificado de López Sancho et al. (2005).

Una larga serie de experimentos, entre los que destacan los de Alexander Neckam, dieron lugar a uno de los instrumentos científicos más útiles, la brújula. Marco Polo la encontró también en sus viajes a oriente, donde se fabricaban dándoles la forma de una cuchara.

En el siglo XIII se comienza a pensar sobre la ciencia como una forma especial de conocimiento, el mayor exponente de este pensamiento fue Roger Bacon (conocido como *doctor mirabilis*, doctor admirable), cuyo movimiento filosófico daría lugar, tres siglos más tarde, a la Revolución científica.

Ese mismo siglo se escribe el primer artículo científico sobre magnetismo con el título: *Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt, militem, de magnete*. Su autor es también conocido como Pedro Peregrino quien lo redactó durante el asedio de la plaza fuerte de Lucera, en sur de Italia, el día ocho de agosto del día del Señor 1269.

En el siglo XVI Gilbert, médico de la Reina Isabel I de Inglaterra, recopila los conocimientos que del magnetismo se tenían en su libro, *De Magnete*, dando paso a un periodo en el que son conocidas las leyes del magnetismo y sus principales propiedades (**Imagen 2**).

En 1800 Volta inventa un aparato que produce electricidad sin necesidad de frotar objetos y por ello Napoleón lo nombra Conde de Volta. Veinte años más tarde, en Dinamarca, Oersted descubre que la circulación de cargas eléctricas produce un campo magnético igual al de los imanes, y Ampere describe ese campo por medio de ecuaciones: el magnetismo de ha unido a la electricidad. Pero falta un modelo que proporcione un soporte mental a ambos tipos de fenómenos.

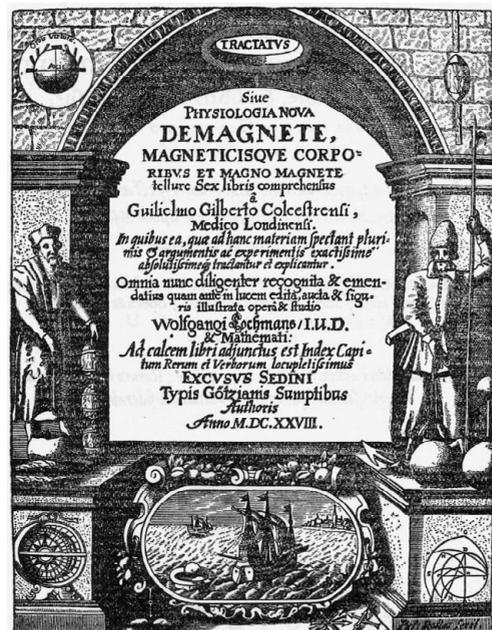


Imagen 2. Portada de *De Magnete* en la edición de 1628.

El modelo de magnetismo de Faraday

Faraday (**Imagen 3**), autodidacta en gran medida y dotado de una mente intuitiva, se planteó el problema de inventar modelo intuitivo de la electricidad y el magnetismo.

En este trabajo nos ocuparemos únicamente del segundo, ya que el caso de la electricidad es mucho más sencillo debido a que las cargas positivas y negativas tienen existencias separadas.

Faraday es consciente de que los modelos analógicos tienen una utilidad limitada, pero comprende su utilidad, al menos, en los primeros contactos con un nuevo fenómeno. Así, el modelo que asemeja la corriente eléctrica a la de un líquido circulando por una tubería es especialmente útil cuando los alumnos se enfrentan por primera vez con circuitos de corriente continua. Y se comprende la razón por la que a la carga que circula se la llama *corriente*, a lo que se opone a la circulación, resistencia, y llamamos diferencia de potencial a lo que, en el caso de una tubería, es la diferencia de presión.

Por eso Faraday piensa que un modelo mecánico del magnetismo sería útil para acostumbrarse al comportamiento de los imanes, predecir lo que va a ocurrir en experimentos nuevos y, sobre todo, detectar las diferencias de comportamiento que llevan a nuevas leyes. Así lo explica en una de sus publicaciones:

It is not to be supposed for a moment that speculations of this kind are useless, or necessarily hurtful, in natural philosophy. They should ever be held as doubtful and liable to error and to change; but they are wonderful aids in the hands of the experimentalist and mathematician. For not only are they useful in rendering the vague idea more clear for the time, giving it something like a definite shape, that it may be submitted to experiment and calculation; but they lead on, by deduction and correction, to the discovery of new phaenomena, and so cause an increase and advance of real physical truth, which, unlike the hypothesis that led to it, becomes fundamental knowledge not subject to change.

Con este razonamiento presenta su modelo de *líneas de fuerza* que examinamos a continuación, junto con la justificación del mismo.

Partiremos, como hemos dicho, del punto en que dejamos nuestro trabajo experimental en el primer artículo dedicado a este tema, en el que se había puesto de manifiesto la existencia de líneas de fuerza en el espacio que rodea a un imán; es-

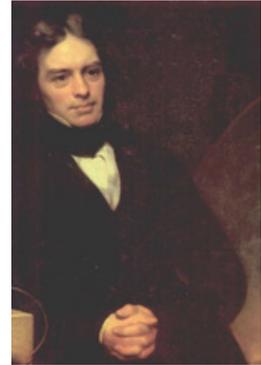


Imagen 3. Óleo de Faraday por Thomas Phillips.

tas líneas se materializaban mediante el uso de una aguja de brújula suspendida por medio de un hilo y libre de seguir las líneas magnéticas de fuerza presentes en cualquier punto del espacio (**Imagen 4**).

Faraday ideó una *herramienta mental* de las líneas de fuerza (en el sentido que a esta frase le asignaba Vygotsky). Aunque no describió el modelo de forma pormenorizada, nosotros intentaremos adivinarlo y exponerlo de forma sencilla.

Uno de los experimentos más sorprendentes es el de materializar las líneas de fuerza por medio de limaduras de hierro. Siempre nos impresiona ver cómo van colocándose en unos caminos invisibles, pero que sin duda existen. Los alumnos de edades tempranas asocian el fenómeno a lo que ocurre cuando se revela una frase escrita con tinta invisible (zumo de limón) cuando calentamos el papel en el que está escrita y, ciertamente, las limaduras de hierro revelan la existencia de algo que realmente debe estar allí, aunque oculto a nuestra vista.

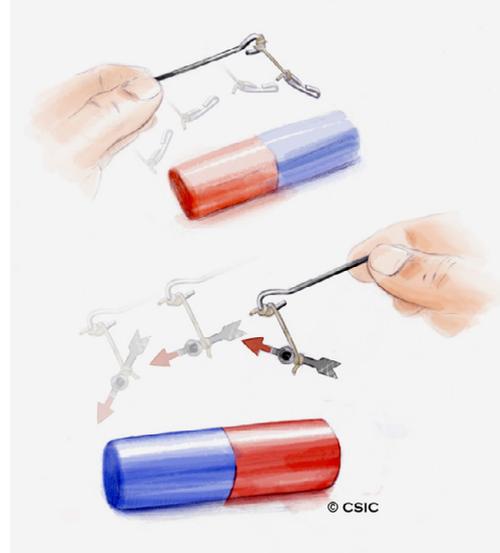


Imagen 4. Ilustración de las experiencias propuestas en Moreno & López (2011).

Faraday dibuja las líneas de la manera siguiente (**Imagen 5**) y coinciden con los caminos que señala nuestra aguja cautiva cuando se sitúa en las inmediaciones del imán.

En principio Faraday se contentó con dibujar las curvas y enunciar tres hipótesis:

- 1) Un imán situado en el espacio, alejado de campos magnéticos, produce líneas de fuerza o de campo que salen por el polo norte del imán y entran por el polo sur. Estas líneas se colocan unas sobre otras de manera que llenen ordenadamente todo el espacio, sin dejar espacios entre ellas y de manera que su longitud

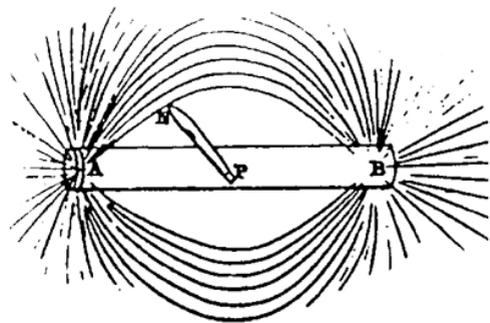


Imagen 5. Ilustración de Faraday sobre las líneas de fuerza entorno a un imán (1855).

sea la menor posible, como si se tratara de tubos de diámetro microscópicos. Todas las líneas elásticas están en tensión, dotando al espacio de una cierta energía, debida al campo.

Debemos darnos cuenta de que este enunciado dota a las líneas de una naturaleza vectorial asignándolas un sentido determinado.

2) Un imán situado en un campo magnético siente una fuerza que lo lleva a una posición en la que las líneas de fuerza del campo entren por su polo sur y salgan por su polo norte.

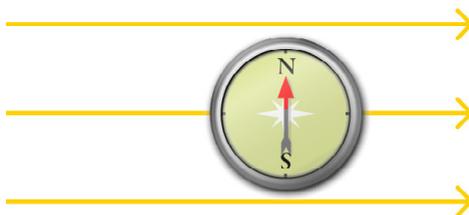
3) Las líneas de fuerza deformadas se comportan como hilos elásticos que tienden a recuperar su forma y longitud inicial por medio de la aparición de fuerzas que responden a la ley de Hooke de tensión-deformación.

Provistos de estas hipótesis de trabajo procedemos a estudiar lo que le ocurre a una brújula (**Imagen 6**) en una región del espacio solo sometido al débil campo magnético terrestre en el que se orientará en la dirección norte-sur.



Imagen 6. Ilustración de una brújula orientada según el campo magnético terrestre.

Supongamos ahora que situamos un imán mucho más potente que el de la Tierra en las proximidades de nuestra brújula; aparecerá un campo magnético (**Imagen 7**) que podemos representar por las líneas de fuerza y que orientará la aguja de la brújula cuando responda a su presencia.



Campo magnético

Imagen 7. Situamos nuestra brújula en el campo magnético generado por el imán.

Por efecto de la presencia de esas líneas de fuerza los dos polos del pequeño imán (aguja de la brújula) sufren sendas fuerzas que lo empujan en sentidos contrarios.

Estas fuerzas ejercen un par que obliga a la aguja a girar hasta situarse en una dirección en la que el momento del par sea nulo (**Imagen 8**).

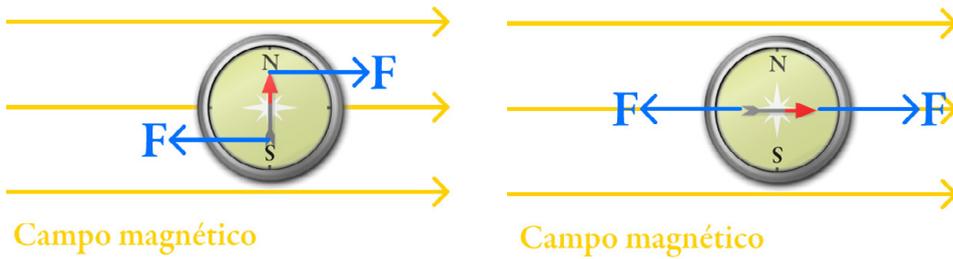


Imagen 8. La aguja de la brújula (imán) sufre un par de fuerzas y se orienta conforme al campo magnético.

En este sencillo experimento se condensa toda la información que necesitamos para construir nuestro modelo.

Observamos que la línea de fuerza arrastra al polo norte de la brújula en su misma dirección y sentido y al polo sur en sentido contrario.

Para explicarlo por medio de un modelo mecánico, Faraday postuló la existencia de unos hilos (de naturaleza magnética e indetectables, por lo tanto, para nosotros). Estos hilos están dotados de gran elasticidad, como los anillos de caucho que estamos acostumbrados a ver pero con mayor resistencia al cambio de forma, de manera que si se alargaban o deformaban aparecía una fuerza elástica que tendía a obligarlos a recuperar su forma y tamaño iniciales. Fotografiamos y representemos la situación que nos indica la primera hipótesis (**Imagen 9**).



Imagen 9. Fotografía y representación de los «hilos» (líneas de fuerza del campo) entorno a un imán.

Para simplificar nuestra exposición podemos considerar una única línea de fuerza. Supongamos ahora que introducimos la aguja magnética en el campo del imán. La línea de fuerza que hemos aislado se encontrará con nuestro pequeño imán y se deformará para cumplir con la segunda hipótesis: entrar por el polo sur de la aguja y salir por el norte. Pero, aplicando la tercera hipótesis, esta deformación provoca la aparición de dos fuerzas que se ejercen en los polos de la aguja y que tienden a recuperar la forma y longitud inicial de la línea de campo.

Pero, y esto es importante, este es un modelo construido *ad hoc* para explicar el efecto de un campo sobre un imán. Para validarlo como digno de llevar ese nombre debemos llevar a cabo el segundo paso en la vida de un modelo: comprobamos si es efectivo en una situación diferente de la que ha dado origen a su nacimiento, en este caso a la fuerza que aparece entre dos imanes cuando se aproximan.

Si acercamos un polo norte a un polo sur de otro imán, las líneas de fuerza que salen del polo norte del imán de la derecha (arrastrándolo hacia la izquierda) irán directamente al polo sur del segundo imán en vez de ir al polo sur del primero, acortando así su longitud. Esta distribución de líneas se puede detectar con nuestra aguja cautiva, como ilustramos en la **Imagen 10**.

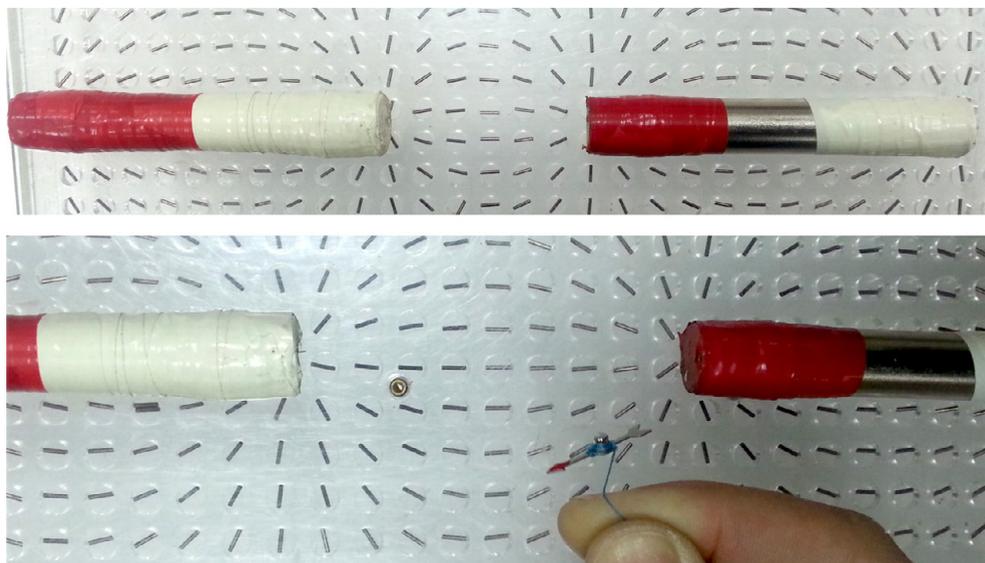


Imagen 10. Distribución de líneas de fuerza al acercar dos polos contrarios y detección del campo con la aguja volante.

La interacción entre las líneas elásticas del campo provoca la aparición de una fuerza que tiende a acercar ambos imanes, de acuerdo con lo que se observa al realizar el experimento (**Imagen 11**).

En el caso en el que se encuentren dos polos iguales encontrados y los forcemos a acercarse, las líneas de fuerza se deformarán. Como no pueden ocupar el mismo lugar se deformarán apareciendo una fuerza elástica de repulsión entre los imanes, de acuerdo con lo observado. Esta distribución de las líneas de fuerza se hace observable utilizando nuestra aguja volante (**Imagen 12**).



Imagen 11. Ilustración del comportamiento de las líneas de fuerza cuando acercamos dos imanes por polos opuestos e ilustración de la fuerza de atracción resultante.

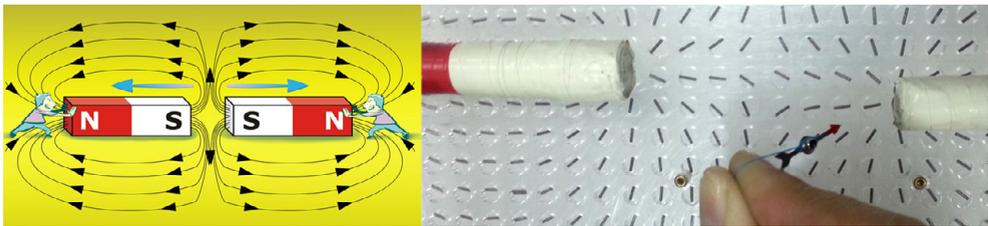


Imagen 12. Ilustración del comportamiento de las líneas de fuerza cuando acercamos dos imanes por polos iguales y fotografía del fenómeno con nuestra aguja volante.

Una comprobación más

Finalmente queremos señalar la extraña aparición de un patrón que muestra a las líneas de campo separadas cuando se realiza el experimento de las limaduras de hierro en el campo de un imán.

La aplicación de las hipótesis de Faraday predice que las líneas de fuerza ocupan **todo el espacio** que abarca el campo, pero esto entra en contradicción con la observación de la estructura en la que se disponen las limaduras de hierro (**Imagen 13**).

Aplicaremos las hipótesis de las líneas de fuerza al caso de las limaduras de hierro y veremos lo que predicen.

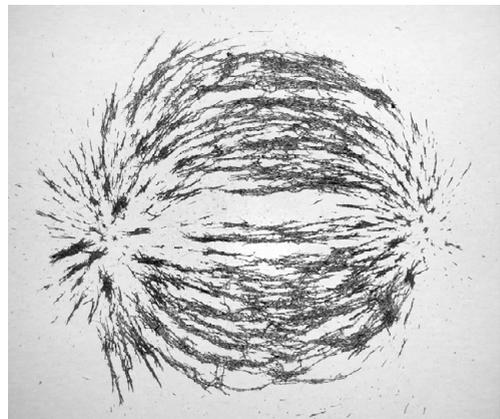


Imagen 13. Disposición de las limaduras de hierro entorno a un imán. Aparente contradicción con una de las hipótesis de Faraday.

Consideremos el campo magnético que rodea a un imán. Para mayor claridad en la exposición representaremos solo tres líneas adyacentes del campo del imán permanente (**Imagen 14**).

Cuando situamos una limadura de hierro en el campo magnético esta pasa a comportarse como un imán debido al magnetismo inducido (en realidad una reorientación de los dominios de Weiss). Este pequeño imán produce sus propias líneas de fuerza (**Imagen 15**) que, debido a su carácter vectorial se suman a las del campo principal de la siguiente forma: las líneas debidas al imán inducido en la limadura se oponen a las del campo principal, por lo que debilitan estas en el espacio superior e inferior al ocupado por la limadura y lo refuerzan en los extremos de esta, produciendo la conocida concentración de las líneas de fuerza resultantes.

Por esa razón las limaduras siguientes se sitúan preferentemente a lo largo de las líneas del campo principal, evitando colocarse por encima o debajo de la limadura. Esto provoca la estructura rayada de la distribución total de limaduras que se observa en el experimento (**Imagen 16**).

Nota

Queremos señalar que el primer modelo de Faraday relativo a los campos supone que la magnitud relevante en las interacciones es la fuerza. Las tres interacciones conocidas entonces, gravitación, electricidad y magnetismo, se

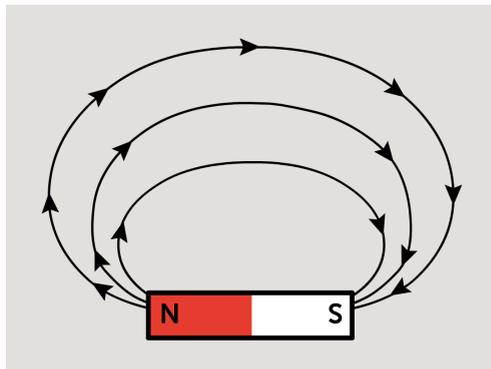


Imagen 14. Ilustración de tres líneas del campo magnético generado por un imán.

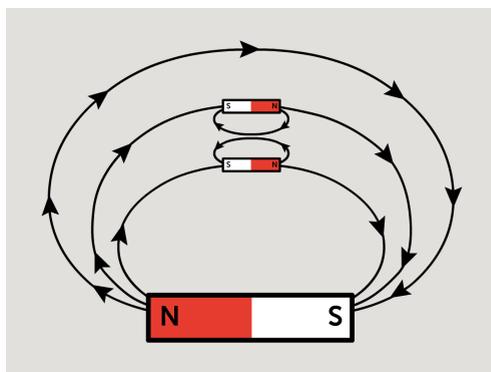


Imagen 15. Ilustración dos limaduras de hierro interaccionan con las líneas de fuerza del imán. Para simplificar la imagen solo se muestran tres líneas del imán y una línea de cada limadura.

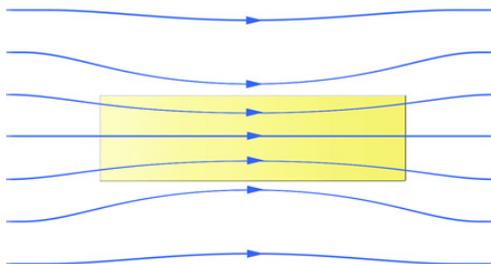


Imagen 16. Ilustración de la disposición de las líneas del campo del imán entorno a una limadura de hierro: las líneas del campo generado por el imán tienden a concentrarse en los extremos de la limadura disminuyendo su densidad por encima y debajo de esta.

propagan por el espacio por medio de las líneas de fuerza, con la única diferencia entre unas y otras en la fuente de las mismas y la naturaleza de la magnitud sobre la que actúan: masa, carga eléctrica y carga magnética.

Algunas consideraciones sobre el concepto de campo

Lo verdaderamente interesante del ejercicio que acabamos de realizar es que refleja la forma en que se construye la ciencia.

En las palabras anteriormente citadas de Faraday, las representaciones mentales no solo son útiles porque ayudan a aclarar y organizar los hechos observados, sino porque:

...mediante deducciones y correcciones nos ayudan a descubrir nuevos fenómenos contribuyendo al avance real de la ciencia y estas hipótesis se pueden convertir en conocimiento fundamental...

Podemos decir que el concepto de campo nace de dividir en dos partes la expresión de la fuerza entre dos cargas eléctricas o la de fuerza entre dos masas (**Imagen 17**).

CAMPO ELECTROSTÁTICO DESDE LA LEY DE COULOMB

$$\vec{F} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \Rightarrow F = \frac{\boxed{k \cdot q_1}}{r^2} \cdot q_2 \Rightarrow \vec{F} = \vec{E} \cdot q_2 \Rightarrow \vec{F} = \vec{E} \cdot q \Rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

\vec{E} = campo electrostático

CAMPO GRAVITATORIO DESDE LA LEY DE LA GRAVITACIÓN DE NEWTON

$$\vec{F} = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \Rightarrow \vec{F} = G \cdot \frac{\boxed{M}}{r^2} \cdot m \Rightarrow \vec{F} = \vec{g} \cdot m \Rightarrow \vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$

\vec{g} = campo gravitatorio

Imagen 17. Desarrollo algebraico de los campos eléctrico y gravitatorio a partir de la Ley entre cargas de Coulomb y de la Ley de Gravitación de Newton.

El campo es una modificación del espacio, un vector asociado a cada punto del espacio y que aparece en presencia de una masa o una carga.

La conceptualización de esta magnitud nos permite asignar a cada punto del espacio un vector campo, independientemente de que exista en ese punto una carga o una masa sobre la que actúe.

Podemos preguntarnos si existe realmente ese campo puesto que no sabemos de él hasta que «ponemos» una carga o una masa: la respuesta es positiva pues la propia variación de un campo produce otro campo.

Maxwell utiliza este campo eléctrico de tal manera que, cuando varía, aparece un campo magnético, también imposible de observar sin la presencia de un imán o un hilo conductor (antena), que, si a su vez varía, da lugar a la aparición de un nuevo campo eléctrico en un proceso sin fin que constituye una onda electromagnética.

Es una forma de razonar matemática en la que, como señaló Faraday, se deja que tome el mando la lógica que subyace en el formalismo, pero ese es parte del encanto de las matemáticas.

Conclusiones

A lo largo de estos dos trabajos publicados en esta Serie hemos pretendido ayudar al profesorado de las primeras etapas educativas a tener una visión lo más completa y manejable posible del fenómeno del magnetismo.

Nuestra experiencia con maestros y profesores nos indica que si bien el uso de imanes en las aulas está aceptado como herramienta didáctica de primer orden, las actividades desarrolladas pocas veces se llevan a sus «últimas consecuencias», y muy rara vez se aborda el concepto de campo magnético.

Respetando y entendiendo que es el docente el que debe decidir hasta donde conducen (que conceptos pretende que asimilen los alumnos) las experiencias con imanes, creemos que muchas veces se infrutilizan estos materiales y no se llegan a abordar conceptos claves del magnetismo. Esperamos que estos dos trabajos contribuyan a mejorar la metodología y práctica educativa con imanes.

Agradecimientos

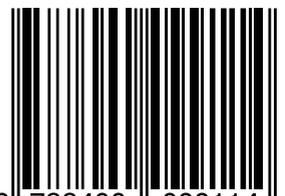
Esta publicación forma parte de las actividades de comunicación social de la ciencia previstas en el Proyecto *El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela 2013-2015* que cuenta con la financiación de la Fundación BBVA.

Referencias bibliográficas

- FARADAY, MICHAEL. *Experimental Researches in Electricity*. Philosophical Transactions of 1846-1852. Vol. 3. 1855. [En línea]: <http://books.google.es/books?id=yzgLAAAAYAAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s> [Consulta: septiembre 2014].
- IEEE Global History Network. *Michael Faraday*. [En línea]: <http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Michael_Faraday> [Consulta: septiembre 2014].
- KUHN, THOMAS S. *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura Económica, 2005. 361 pp.
- LÓPEZ SANCHO, JOSÉ MARÍA; GÓMEZ DÍAZ, MARÍA JOSÉ; REFOLIO REFOLIO, MARÍA DEL CARMEN; LÓPEZ ÁLVAREZ, JOSÉ MANUEL. *Magnetismo en el Aula. Material didáctico para profesores de Educación Infantil y Primaria*. Material Didáctico. Madrid. Comunidad de Madrid. Consejería de Educación. Dirección de orientación académica, 2005. 170 pp. <<https://digital.csic.es/handle/10261/85706>>
- LUCRECIO CARO, TITO. *De la naturaleza de las cosas*. Libro 8. Traducción José Marchena. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. [En línea]: <<http://www.cervantesvirtual.com/>> [Consulta: septiembre 2014].
- MORENO GÓMEZ, E. & LÓPEZ SANCHO, J. M. «Una propuesta para sentir el campo magnético de un imán». *Serie El CSIC en la Escuela: Investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula*. N.º 3. pp. 68-73. Editorial CSIC. 2011. <<http://libros.csic.es/index.php?cPath=95>>
- NERSESIAN, NANCY J. *Creating Scientific Concepts*. MIT Press, 2008. 272 pp.
- PLATÓN. *Ion o de la poesía. Diálogos socráticos. Obras completas de Platón*. Traducción de Patricio de Azcárate. 1871. Proyecto Filosofía en español. Filosofía.org. [En línea]: <<http://www.filosofia.org/cla/pla/img/azf02181.pdf>> [Consulta: septiembre 2014].
- PLINIO, EL VIEJO. *Historia natural. De la naturaleza de las piedras, de su uso en construcción, de los principales monumentos y otros usos*. Libro 36. 25. Capítulo 16. La escultura en la historia natural de Plinio el viejo. Libro 36. [En línea]: <http://www.historia-del-arte-erotico.com/Plinio_el_viejo/libro36.htm> [Consulta: septiembre 2014].
- BODROVA, ELENA & DEBORAH, J. LEONG. *Herramientas de la mente: El aprendizaje en la infancia desde la perspectiva de Vygotsky*. Secretaría de Educación Pública, 2008. 180 pp.
- Wikipedia. *De Magnete*. [En línea]: <http://en.wikipedia.org/wiki/De_Magnete> [Consulta: septiembre 2014].



e-ISBN: 978-84-00-09911-4



9 788400 099114



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

 **CSIC**

Fundación **BBVA**