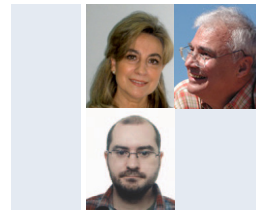


Aprendizaje de la ciencia, metamodelos y metacognición



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.

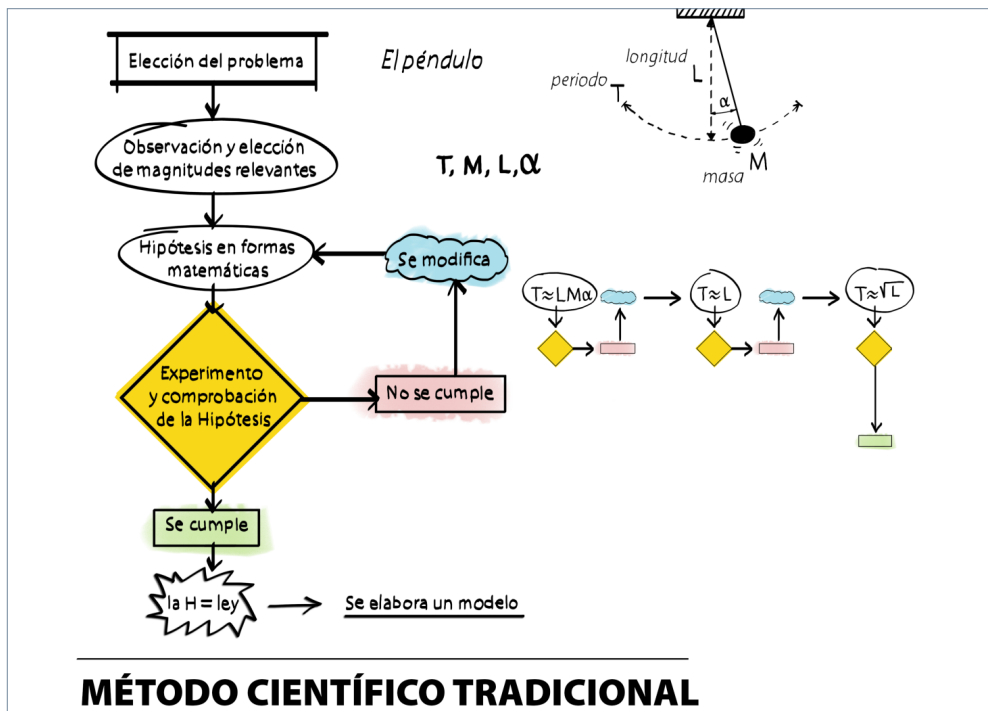


Imagen 2. Diagrama que muestra esquemáticamente el método científico tradicional o baconiano. El problema propuesto es determinar la relación entre el periodo de oscilación de un péndulo y su longitud. La relación entre ambas magnitudes, para un número de oscilaciones reducido, se debe a Galileo. T ,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

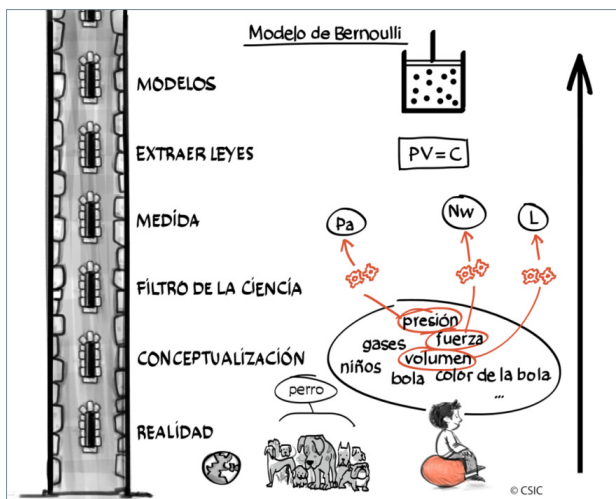


Imagen 3. Ilustración que refleja varios aspectos relevantes en el proceso de construcción de conocimiento científico según el método de Bacon. Con el modelo de Bernoulli se describe el comportamiento de las moléculas en un gas y se deduce la ley de Boyle. De todos los conceptos que describen la realidad 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.

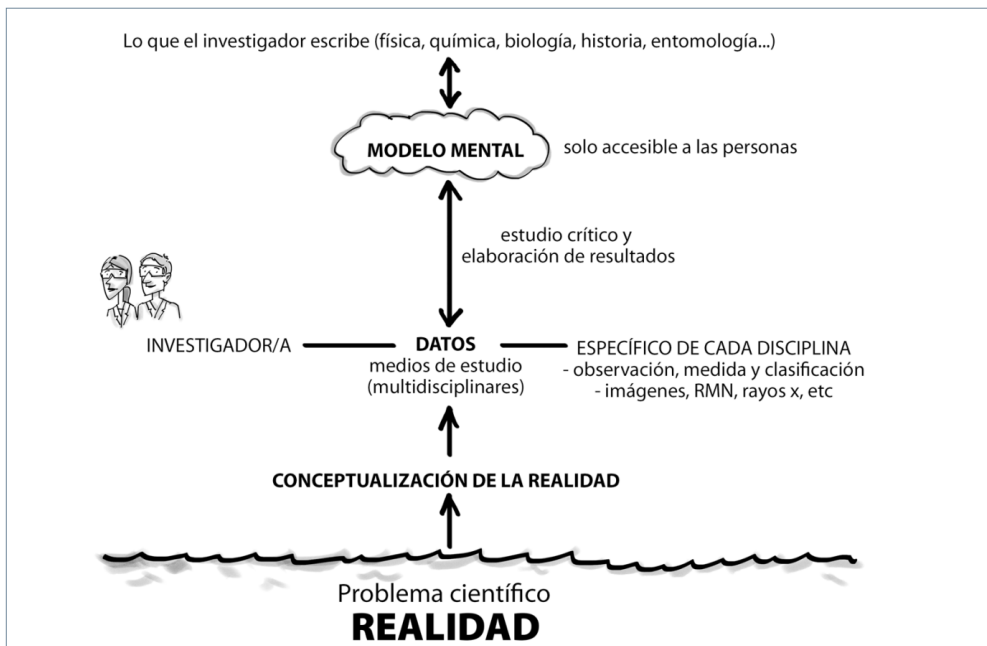


Imagen 5. Diagrama esquemático sobre la forma en que se construye el conocimiento científico aplicando las ideas de la NOS. Para ejemplos en distintas disciplinas consultar texto.

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.

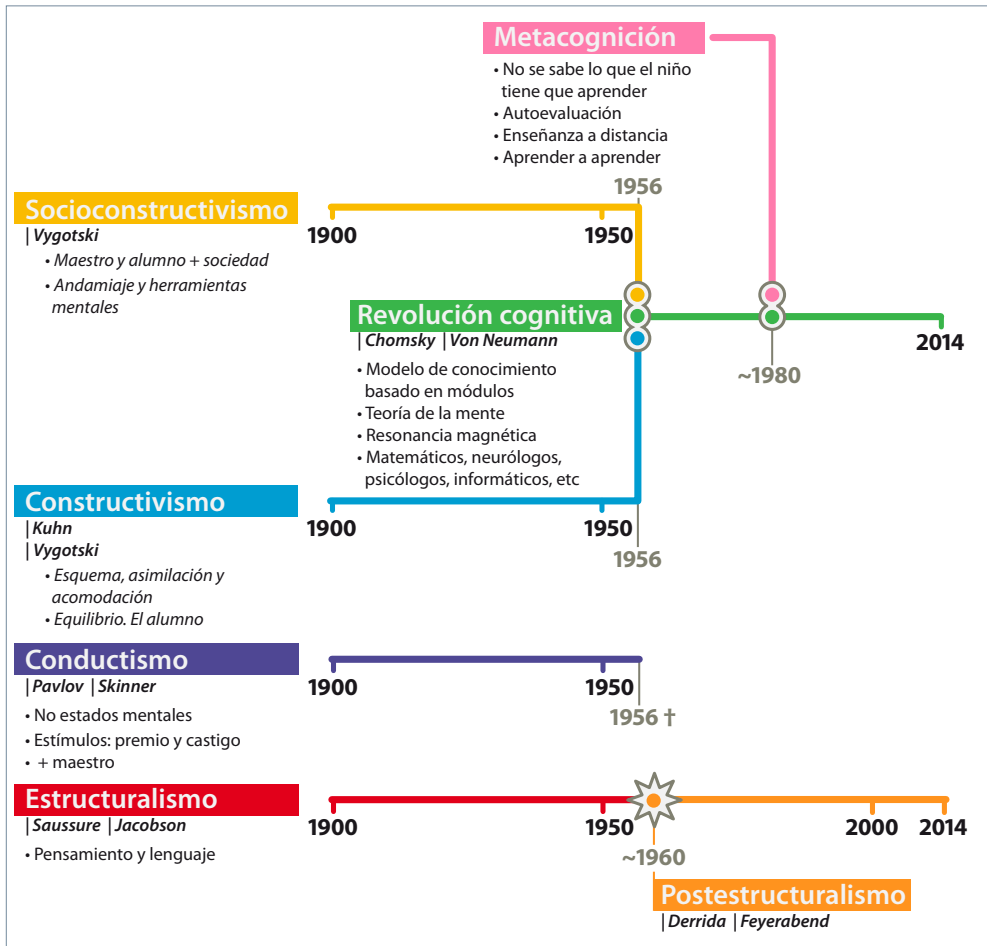


Imagen 6. Cuadro esquemático que proporciona una síntesis y situación temporal de las distintas teorías y corrientes que han abordado, entre otros, el concepto de aprendizaje. Modificado de López Sancho (2014).

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**).

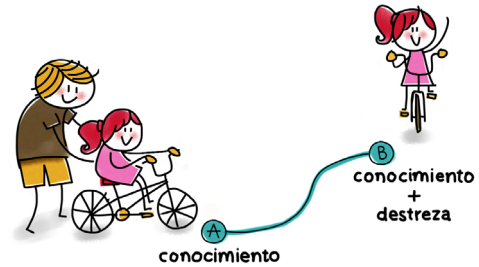


Imagen 7. En la situación (A) el conocimiento reside en aprender una serie de reglas. En la situación (B) la niña conoce esas reglas y las aplica con destreza.

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.

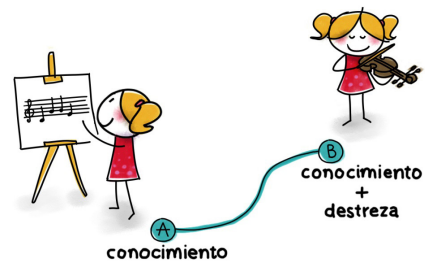


Imagen 8. En la situación (A) la niña adquiere el conocimiento mediante las reglas del solfeo. En la situación (B), tras practicar, la niña puede adquirir cierta destreza tocando el violín.

¿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 adquiriera, 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.

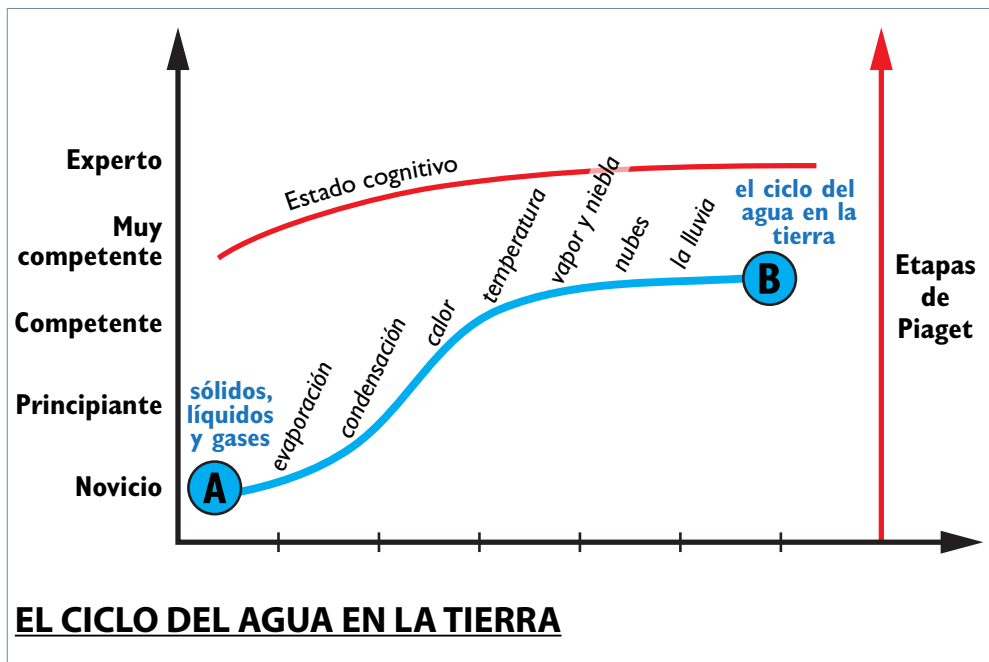


Imagen 9. Gráfica en la que se sintetiza nuestra propuesta para diseñar el proceso de aprendizaje del ciclo del agua en función de la escala de destrezas de Dreyfus y de las etapas de Piaget (ordenadas). La curva azul representa el camino del aprendizaje y se le han añadido algunos de los conceptos necesarios 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.