

La naturaleza del conocimiento: los modelos en la enseñanza de la ciencia



M.ª C. Refolio Refolio, M.ª J. Gómez Díaz*
J. M. López Álvarez y J. M.ª López Sancho

Investigadora del programa El CSIC en la Escuela

Maestra y coordinadora del programa El CSIC en la Escuela

Maestro del programa El CSIC en la Escuela

Investigador y director del programa El CSIC en la Escuela

Palabras clave

Conocimiento, modelos, lenguaje, ciencia, conceptualización.

Resumen

En un recorrido histórico describiremos y analizaremos las distintas propuestas y definiciones que se han dado sobre la naturaleza del conocimiento. De esta forma veremos como a mediados del siglo XX convergen distintas disciplinas en la denominada revolución cognitiva, produciéndose un cambio de paradigma en el enfoque de la naturaleza del conocimiento.

Hacia la revolución cognitiva

Es evidente que el conocimiento, en todas sus facetas, es tan importante como cualquier medio de producción. Ya en el Paleolítico debía ser muy importante saber dónde y cuando recolectar los frutos, así como conocer las técnicas de caza. Más tarde, en el Neolítico, el número de conocimientos útiles aumentó, y fue necesario saber cómo y cuando se debe sembrar, la forma de recolectar y la manera en que se deben preparar los alimentos. Por ello, no es difícil entender que el hombre se preguntase por el origen de estos conocimientos.

Las respuestas a esta pregunta se suelen dividir en dos grupos, identificados por el modelo que emplean. El primero es el de los *racionalistas*, personalizado en Platón; probablemente observaron que las aves saben volar aunque hayan nacido y crecido sin la presencia de sus progenitores, a pesar de lo complicado que es el vuelo, y ge-

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

neralizando esta observación pensaron que nacemos con todos los conocimientos. El segundo grupo, en cambio, viendo que los niños necesitaban que se les enseñe incluso a andar, pensaron que los seres humanos nacemos con la mente en blanco, *tanquam tabula rasa*, y en ella se va almacenando lo que aprendemos mediante la experiencia. Este modelo *empirista* se debe a Aristóteles y es, como vemos contrario al *innatismo* de Platón.

Tanto los racionalistas como los empiristas aceptaron la existencia de dos mundos distintos: *el de la materia y el del pensamiento*. Esta visión del aprendizaje perduro con ligeras modificaciones hasta que Descartes (1596-1650), unos dos mil años después, avanzó un paso más, planteando la existencia de la *materia, el espacio y el tiempo*, por un lado, y del *pensamiento* por otro. Ambos orbes tenían que estar conectados, ya que las percepciones del mundo exterior nos llegan por medio de los sentidos y tienen, de alguna manera, que transmitirse al orbe del pensamiento. Y estas percepciones sensoriales eran de suma importancia, ya que todo el conocimiento que las personas tienen del mundo exterior lo obtienen por los sentidos. Además este pensamiento tenía que viajar en sentido contrario, de manera que si teníamos el pensamiento de mover una parte de nuestro cuerpo, éste debía actuar sobre los músculos que lo llevarían a cabo. Así, Descartes establecía que el conocimiento era una actividad propia del mundo del pensamiento, aunque se obtenía a partir de percepciones sensoriales del mundo material; quedaba así planteado el problema de la conexión entre ambos mundos.

Otro frente en el estudio del conocimiento es el que cuestiona la validez de las leyes que lo forman. Si el conocimiento debe estar formado por proposiciones universales, que se cumplan siempre y en toda circunstancia, ¿cómo es posible obtenerlo a partir de la experiencia, es decir, de un número limitado de procesos concretos? Kant intenta aclarar esta contradicción, que pone en tela de juicio todo el empirismo, planteando un problema que perdura hasta el momento actual.

El hecho de que la mente humana pueda extraer conocimiento de la observación del mundo exterior implica que ésta tiene que tener algún ingrediente propio, ya que los hechos observados, por sí solos, no constituyen conocimiento. Este ingrediente, cuya existencia está presente en la mayoría de los escritos de los filósofos y científicos, es la *lógica*, que sí que es *innata* en los seres humanos. Así se introduce un nuevo problema: descubrir *la naturaleza de la lógica*.

Aristóteles había formalizado la lógica deductiva utilizando silogismos de tres proposiciones (dos premisas y una conclusión) y posteriormente Tomás de Aquino la había reformulado en el siglo XIII. Pero es un matemático, Boole, el que unifica las matemáticas y la forma en que funciona la mente en 1854, en una obra que titula:

Una investigación de las leyes del pensamiento en las que se fundamentan las teorías matemáticas y la lógica de probabilidades. La lógica de Aristóteles se formaliza por medio de fórmulas matemáticas siguiendo las leyes del álgebra.

El paso siguiente, en nuestro rápido recorrido por la historia, se lo debemos a Saussure (1857-1913), que en su *Curso de Lingüística General* (publicado por sus alumnos en 1916) explicó las relaciones entre los conceptos evocados por las palabras y el mundo real. Esta concepción del lenguaje es, además de la base del estructuralismo, la relación en la que se basó Wittgenstein (1889-1951) para iniciar el estudio del pensamiento: «todo lo que se puede decir se puede pensar y todo lo que se puede pensar se puede decir».

En 1937 Turing publica un artículo que titula *Números Calculables*, en el que demuestra que cualquier programa puede implementarse en cualquier tipo de ordenador, independientemente de su «hardware». Con este artículo se establece que lo importante es el algoritmo (el programa). Antes de este artículo, en el que se describe lo que se conoce como máquina de Turing, se pensaba que lo importante era la máquina (el hardware).

En 1938 Shannon utiliza los principios de Boole y demuestra que las operaciones lógicas booleanas, es decir, las operaciones del pensamiento se pueden realizar mediante circuitos eléctricos elementales, de manera que cualquier operación lógica puede implementarse por medio de combinaciones de esos circuitos. Es el principio del ordenador electrónico. Este camino convergerá, diez años más adelante, con los demás modelos del pensamiento.

En Suiza Jean Piaget formuló el programa de investigación de *epistemología genética*. En 1947 publica *La psicología de la inteligencia*, en realidad un resumen de su curso en el Colegio de Francia en 1942. Allí expone su modelo, en el que la lógica innata es la base del pensamiento; en consecuencia define la inteligencia como un conjunto de operaciones lógicas concatenadas: *percepción, abstracción, conceptualización, clasificación*, etc. Simultáneamente Konrad Lorenz exponía su visión de la *epistemología evolutiva* y Warren McCulloch empezaba a hablar de *epistemología experimental*.

A pesar de todos estos avances, hasta mediados del siglo XX el modelo de ser humano era prácticamente igual al de Descartes. Las percepciones llegan a la mente a través de los sentidos, se transforman en pensamientos y son manipulados utilizando las leyes de la lógica. Pero, ¿cómo pasa la información del mundo exterior a conocimiento? Y sobre todo, ¿qué es y donde reside el conocimiento?

Es justamente a mediados del siglo XX cuando convergen los diferentes caminos a los que hemos aludido en este artículo. Lingüistas, psicólogos, antropólogos, teóricos de la ciencia de la computación, matemáticos, etc. protagonizan un movimiento intelectual que se conoce como **revolución cognitiva**, produciéndose un cambio de paradigma en el enfoque de la naturaleza del conocimiento.

Aunque es imposible exponer brevemente la nueva forma de enfocar el problema de *mente y materia* que surgió de la revolución cognitiva, nos gustaría señalar su línea de razonamiento, originada en torno al Massachusetts Institute of Technology (MIT) y a Princeton. Los protagonistas principales fueron John von Neumann, Norbert Wiener, Alan Turing y Warren McCulloch. Wiener acuñó el término de cibernética.

Todos ellos produjeron un cambio de paradigma en un campo dominado entonces por el *conductismo*, admitiendo que el cerebro jugaba el papel del hardware del pensamiento y que el propio pensamiento estaba constituido por el conjunto de programas que se desarrollaban en ese hardware. Así, de acuerdo con Turing, quedaba claro que no era fundamental conocer las bases neurológicas del cerebro para estudiar el pensamiento y también se entendía que los trabajos de Piaget iban dirigidos a estudiar cómo se desarrollaba la mente a lo largo de los primeros años. Se entendía también que estos programas que constituían el pensamiento podían desarrollarse siguiendo las mismas reglas que la evolución imponía al hardware, sometiéndolos a las leyes de la lucha por la vida.

Una vez admitidas estas premisas, podemos considerar a los seres humanos como los únicos seres vivos cuya adaptación al medio se realiza por software, es decir, por medio del conocimiento. La idea que les presentamos es una generalización de lo que podríamos llamar «adaptación intelectual».

Un ejercicio interesante es comparar el comportamiento evolutivo del mamut y el hombre ante la última glaciación. Al producirse el descenso de temperatura en forma lenta y gradual, el mamut evolucionó cubriéndose con un pelo denso y aislante, que le permitió sobrevivir. La capacidad de producir este pelo protector se comunicaba a su prole a través de la herencia biológica, pues iba «impreso» en sus genes. El hombre, en cambio, se adaptó a las bajas temperaturas aprendiendo a fabricar vestidos hechos con pieles de animales apropiados (con todas sus complicaciones de curtido, diseño y cosido), y transmitió este conocimiento a sus descendientes, enseñándoles las técnicas que había desarrollado.

Pero la etapa de glaciación terminó de una manera brusca, demasiado rápida para que los mecanismos de evolución genética permitiesen al mamut perder su pelo, y su especie se extinguió. Para los descendientes del hombre, en cambio, desandar el

camino de la adaptación fue tan fácil como quitarse el abrigo o elegir ropas menos calurosas. La forma de transmisión del conocimiento era mucho más rápida de modificar y adaptar que el mecanismo genético que descubrió Darwin.

A continuación (**Imagen 1** e **Imagen 2**) mostramos una representación gráfica que ilustra esta idea:



Imagen 1. El largo camino de la evolución por hardware.



Imagen 2. El camino rápido de la evolución por software.

Mientras que la Naturaleza necesitó millones de años para transformar un dinosaurio en un animal capaz de volar, o un pez en un ser que pudiera desenvolverse en tierra firme, en sólo unos miles de años hemos visto cómo el *Homo sapiens* pasa, de recolector de frutos silvestres, no ya a ser capaz de volar, sino a lanzar satélites artificiales e incluso a viajar hasta la Luna. Esta enorme capacidad de evolución se basa tanto en el hecho asombroso, en palabras de Einstein, que «el mundo pueda entenderse», como en la facilidad, e incluso la necesidad, que presenta el niño de absorber todo conocimiento que se pone a su alcance.

Ya que la evolución humana se produce a través del conocimiento, la educación debe desarrollar las capacidades básicas del proceso de aprender: creatividad, curiosidad, lógica, etc.

Pero no hemos contestado todavía a la pregunta que habíamos planteado al principio: ¿cómo almacenan los seres humanos el conocimiento? Nosotros, interesados principalmente en la enseñanza de la ciencia, nos referiremos solo al conocimiento científico, pero el argumento es fácilmente generalizable a los demás campos del conocimiento. Nuestra respuesta, en la que se basa el método de enseñanza que seguimos, considera que el conocimiento radica en los modelos que se construyen de las diferentes parcelas objeto de estudio, modelos que son una representación mental muy simplificada de la realidad. Se elaboran por un método conocido, el constructivista, y se mejoran y adecuan a la realidad por medio de la investigación.

El ejemplo más conocido de modelo de conocimiento científico es el del sistema solar, que emplea Kuhn para estudiar la estructura de las revoluciones científicas.

El primer modelo de la Grecia clásica es el de Eudoxo, hacia siglo III a. C., en el que los siete planetas de ese tiempo, el Sol, la Luna, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, giran en torno a la Tierra, situada en el centro del universo, unidos a sendas esferas transparentes. Pero, basándose en que el Sol era el más grande de los cuerpos celestes, Aristarco propuso por esa misma época que era el Sol el que ocupa el centro del universo y la Tierra gira en rededor suyo una vez al año, en una trayectoria básicamente circular.

Por alguna razón de tipo más bien estético (la elegancia de los modelos es muy importante en la ciencia) a pesar de medirse las distancias entre Tierra, Sol y Luna, así como el tamaño de los tres cuerpos, y comprobarse que el Sol era el más grande de los tres, Ptolomeo enunció su modelo geocéntrico en el siglo II d. C.

El universo geocéntrico perduró a lo largo de la Edad Media hasta mediados del siglo XVI, tiempo en que Copérnico publicó su *De Revolutionibus Orbium Caelestium*, en que se enunciaba, de nuevo, un modelo de universo geocéntrico, en que los planetas y la Tierra giran en torno al Sol en complicadas trayectorias compuestas por movimientos circulares.

En 1609 Kepler, utilizando observaciones de Tycho Brahe, postula un universo geocéntrico en el que los planetas se mueven en órbitas elípticas, modelo que, en lo esencial y en lo que respecta al sistema solar, perdura hasta nuestros días.

Si meditamos sobre la naturaleza de estos modelos veremos que la parte esencial de ellos, la base sobre la que están contruidos, son los *conceptos*. En ambos modelos aparecen los conceptos de universo, centro, Tierra, Sol, planeta, satélite, órbita, círculo, elipse, movimiento, velocidad, etc. Estos conceptos son los ingredientes con los que construimos el modelo. Sobre estos conceptos se elabora una estructura que los relaciona, permitiéndonos explicar los movimientos tal como se ven desde nuestro observatorio en la Tierra y predecir la posición que tendrán los planetas y nuestro satélite en cualquier tiempo futuro. Y en el modelo está contenido todo el conocimiento que tenemos del sistema solar. Por eso podemos juzgar, por ejemplo, el conocimiento que los griegos tenían del universo a partir de los modelos que manejaban.

Proceso de conceptualización: un proceso fundamental en ciencia

Wittgenstein nos cuenta que lo que le dio la clave para su teoría sobre el pensamiento fue la escenificación que se hizo, durante un juicio legal, de un accidente de circulación (**Imagen 3**). En el juicio se emplearon coches de juguete para reconstruir el accidente y de acuerdo con los testigos, se representaron las distintas versiones del mismo. Para Wittgenstein los cochecitos hacían en el juicio el mismo papel que las palabras en nuestro pensamiento: sustituían las «cosas» del mundo. Pero como hemos dicho, las cosas del mundo son demasiadas para darles nombre a todas. Es necesario formar conceptos: *conjuntos de cosas, de infinitas cosas, a las que podemos dar un nombre común con el que designemos a todos ellos*. Cada uno de esos conjuntos corresponde a lo que Platón llama «ideas universales», según él innata en las personas.



Imagen 3. Ilustración del juicio que presenció Wittgenstein.

Veamos cual es, de acuerdo con Piaget, ese proceso. Es el mismo que tiene lugar entre los científicos ante un nuevo fenómeno. Supongamos que el niño tiene un perro que se llama Nai. Cuando vea otro perro, su imagen le evocará la etiqueta de la «cosa» más parecida que conoce, y dirá a la vez que lo señala (acción de señalar = esa cosa es) un «Nai». Está asociando bajo la misma etiqueta (Nai), más de una «cosa» real. Esta operación lógica constituye el proceso de conceptualización, consistente en etiquetar un conjunto infinito de cosas (todos los perros posibles, reales o no). Lo mismo ocurre con los señores (un papá) y las niñas y los niños...

El proceso de conceptualización es básico en ciencia. La expresión:

$$\text{fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración}$$

es una relación en la que intervienen conceptos e implica que se cumple para todos los elementos de los tres conjuntos.

La historia de la ciencia es una historia de conceptualizaciones. Cada una de ellas implica una forma de ver el mundo. Aristóteles, que tenía alma de biólogo, cometió el error de agrupar a los seres vivos y a los inanimados en el mismo tipo de conjun-

tos, a los que definió por su finalidad (teleología). También lo hacen los niños en su primer estadio, lo que nos hace sospechar que la ontogenia y la filogenia deben de estar relacionadas.

Eudoxo de Cnidos, alumno de la Academia y amigo de Platón, cometió otro fallo de conceptualización e incluyó al Sol, (brillante y caliente) en el misma categoría de Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Aristarco de Samos, sesenta años después, conceptualizó correctamente los cuerpos celestes en un sistema heliocéntrico, pero Platón había muerto poco antes y no pudo leerlo.

El papel de la conceptualización en el lenguaje

El poder trabajar con conceptos dota al individuo con una potencia de cálculo lógico que es imposible si se maneja solo con «cosas» separadas. Esa potencia se debe a las operaciones que pueden hacerse con los conjuntos: intersección, producto, porciones, etc.

Esto nos permite referirnos a la mesa grande del despacho del abuelo en la casa de la sierra, de una manera tan precisa como si tuviera un nombre propio, como había tenido que hacer el hombre de Borges. En el conjunto de todas las mesas hemos hecho una clasificación entre grandes y pequeñas; nos hemos quedado con las grandes.

A pesar de estas disquisiciones definir el concepto es una pregunta interesante, aunque casi imposible de contestar: ¿qué es un concepto? Como el lector habrá adivinado, estamos preguntándonos por el concepto de concepto. Es algo muy difícil de definir, pues corresponde a un proceso mental de abstracción. Lo que sí sabemos es lo que nos ocurriría si no pudiésemos formar conceptos, y Borges, nos lo presenta de la manera siguiente:

«Recuerdo a Funes el memorioso con una oscura pasionaria en la mano, viéndola como nadie la ha visto, aunque la mirara desde el crepúsculo del día hasta el de la noche, toda una vida entera. [...]

[...] Ireneo Funes me pidió que pasara. [...] Me refirió que antes de esa tarde lluviosa en que lo volteó el azulejo, él había sido lo que son todos los cristianos: un ciego, un sordo, un desmemoriado.

[...] Nosotros de un vistazo percibimos tres copas en una mesa. Funes, todos los vástagos, racimos y frutos que componen una parra.

[...] No sé cuántas estrellas vería en el cielo.

[...] Locke, en el siglo XVII, postuló (y reprobó) un idioma imposible en el que cada cosa individual, cada piedra, cada pájaro y cada rama tuviera un nombre propio; Funes proyectó alguna vez un idioma análogo, pero lo desechó por parecerle demasiado general, demasiado ambiguo. En efecto, Funes no sólo recordaba cada hoja de cada árbol, de cada monte, sino cada una de las veces que la había percibido o imaginado. Resolvió reducir cada una de sus jornadas pretéritas, a unos setenta mil recuerdos, que definiría luego por cifras. Lo disuadieron dos consideraciones: la conciencia de que la tarea era interminable, la conciencia de que era inútil. Pensó que en la hora de la muerte no habría acabado aún de clasificar todos los recuerdos de la niñez.

Los dos proyectos que he indicado (un vocabulario infinito para la serie natural de los números, un inútil catálogo mental de todas las imágenes del recuerdo) son insensatos, pero revelan cierta balbuciente grandeza. Nos dejan vislumbrar o inferir el vertiginoso mundo de Funes. Éste, no lo olvidemos, era casi incapaz de ideas generales, platónicas. No sólo le costaba comprender que el símbolo genérico perro abarcara tantos individuos dispares de diversos tamaños y diversa forma; le molestaba que el perro de las tres y catorce (visto de perfil) tuviera el mismo nombre que el perro de las tres y cuarto (visto de frente). Su propia cara en el espejo, sus propias manos, lo sorprendían cada vez.»

Funes El Memorioso (*Artificios*, 1944; *Ficciones*, 1944)

Jorge Luis Borges

Así pues, en el fondo del conocimiento se encuentra el proceso de conceptualización. La capacidad de comprender tiene su límite en el proceso de formar conceptos. Por ello, cuando queremos explicar un modelo a nuestros alumnos debemos primero analizar los conceptos que contiene (por medio de un análisis conceptual como el de los mapas de Novak) y conseguir que los adquieran por los medios que consideremos más oportunos. Si explicamos el principio de Arquímedes debemos conceptualizar el volumen, gravedad, vector, peso, peso específico o densidad, fuerza, empuje, y diferencia de vectores.

Por último, en esta breve reseña sobre el conocimiento científico, queremos señalar que debemos tener en cuenta que un modelo o representación no debe confundirse con la realidad. Como hemos visto un modelo es, simplemente una representación simplificada de la misma y codificada por signos de una parte del mundo real.

Pero, aunque la representación no sea igual que el original, debe existir alguna relación entre el mundo real y la representación para que ésta proporcione información sobre aquel.

¿Cómo se forman las representaciones?

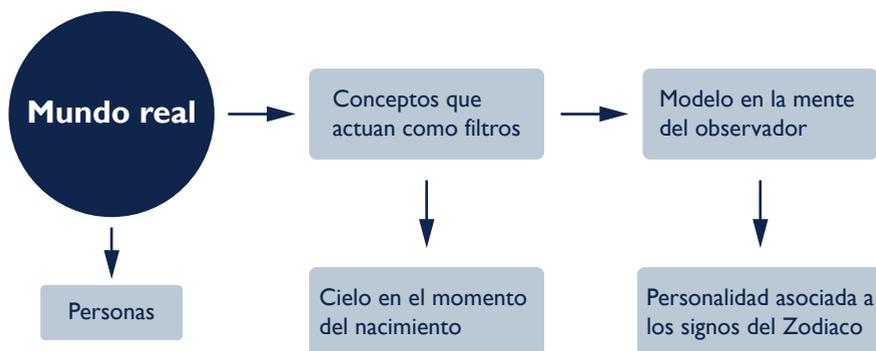
La representación es una forma universal de estructurar el conocimiento (aunque sea falso), incluso en las pseudociencias, como la astrología.

Las representaciones científicas (siempre asociadas al modelo conceptual) presentan características especiales.

Un modelo conceptual es una construcción mental que representa una parte del mundo real. La parte del mundo real (**Esquema 1**) que representa constituye el campo de aplicación del modelo (imanes, gases, etc.).

El mundo real se caracteriza por los elementos conceptuales que se hayan definido, en el caso de los imanes, los polos, el campo magnético, etc.

En el caso de los gases, presión, volumen y temperatura. Los conceptos son propiedades idealizadas del mundo real.



Esquema 1. Caracterización del mundo real.

La ciencia se ocupa solamente de un tipo de elementos conceptuales, el de las magnitudes, que se caracterizan por ser elementos que presentan características que se pueden medir, pesar o contar.

El comportamiento del mundo real que queremos representar está expresado por la leyes. Las leyes se expresan por ecuaciones; una ecuación es una igualdad entre dos expresiones matemáticas, que se cumple para cualquier valor que tomen las variables. El primer miembro es el que aparece antes del signo de igualdad, y el segundo miembro es el que aparece en segundo lugar, aunque es perfectamente válido permutarlos. Los valores que toman las variables que intervienen son medidas de magnitudes.

La relación entre el modelo y el mundo real está determinada por la operación de medir.

El modelo consta de un conjunto de elementos que se relacionan entre sí por una ciertas reglas. El modelo reproduce las mismas leyes que el mundo real.

Idealizar es una operación que consiste en realizar suposiciones que se sabe que son falsas o incompletas. Así una molécula de agua en un modelo simple de gases se idealiza como una esfera elástica. Estas simplificaciones se justifican solamente por los resultados que producen.

También son conocidas las representaciones basadas en el modelo molecular de la materia. Estas representaciones son las que contienen conocimiento y sirven para hacer predicciones. A partir de los modelos se deducen las leyes de la naturaleza, que deben coincidir con las que se han extraído de los experimentos realizados en el mundo real.

Referencias bibliográficas

BORGES, Jorge Luis. *Ficciones*. Textos en línea [en línea]: <<http://www.textosenlinea.com.ar/borges/Ficciones.pdf>> [Consulta: septiembre 2010].

GARDNER, Howard. *La nueva ciencia de la mente. Historia de la revolución cognitiva*. Barcelona: Paidós, 1995. 447 pp.

KUHN, Thomas S. *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura Económica, 2005. 361 pp.

PIAGET, Jean. *El lenguaje y el pensamiento del niño pequeño*. Barcelona: Paidós Ibérica, 1987. 104 pp.