

Evolución en la enseñanza de la ciencia: una introducción para maestros

M.^a José Gómez Díaz

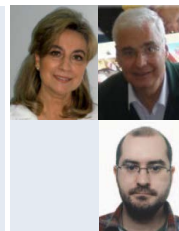
Coordinadora de El CSIC en la Escuela. VACC-CSIC

José María López Sancho

Director de El CSIC en la Escuela. IFF-CSIC

Esteban Moreno Gómez*

El CSIC en la Escuela. VACC-CSIC



Palabras clave

Conocimiento, educación, NOS, VNOS, naturaleza, ciencia, modelo, alfabetización científica.

Resumen

Exponemos brevemente las últimas líneas de investigación centradas en cuestionarios de evaluación diagnóstica referentes a la NOS (*Nature of Science*). Utilizamos esta exposición para meditar acerca de las líneas fundamentales que definen la verdadera naturaleza de la ciencia que debemos aprender y transmitir a nuestros alumnos de acuerdo con sus características.

El concepto de NOS se deriva de la forma en la que los científicos construyen el conocimiento científico y en sus características. Nosotros iremos un paso más allá en cuanto a abstracción: nos apoyamos en el modelo de conocimiento de Piaget que, como veremos, coincide exactamente con el esquema introducido por Kuhn para explicar la construcción del conocimiento de las comunidades científicas.

Introducción

En El CSIC en la Escuela, programa de la Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica del CSIC, coordinará un Proyecto Erasmus+ en la especialidad KA201, Asociaciones estratégicas orientadas al campo de la educación escolar, bajo el título «Scientific literacy at the school: improving strategies and building new practices of science teaching in early years education».

El objetivo fundamental de este proyecto es dar un paso más en el camino de la enseñanza de la ciencia en las primeras etapas (K-6), pasando de enseñar única-

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

mente *contenidos* (típico de la época de los *benchmarks* —referencias— que ocupó la segunda mitad del siglo pasado) a presentar estos contenidos estructurados dentro del esquema general del conocimiento y, más concretamente, en el marco que caracteriza y define la Naturaleza de la Ciencia (NOS, por sus siglas en inglés, *Nature of Science*).

La investigación en el tema general de la NOS es en la actualidad un campo de gran actividad, encaminado a determinar tanto sus características como las formas de evaluación de su conocimiento más apropiadas para educadores y alumnos.

Este nuevo campo tiene sus raíces en la filosofía del conocimiento, donde los hitos fundamentales los encontramos en las obras de Pitágoras, Platón, Aristóteles, Descartes y Piaget, por citar los más característicos. Este camino se encuentra en su recorrido por la historia, con la obra de Kuhn, Popper, Lakatos y Feyerabend, que, a su vez, confluyen con los resultados obtenidos en el campo de la inteligencia artificial emprendido por Boole, Wittgenstein, Turing y Von Neumann. A esta riqueza de nuevos conocimientos se une la solución del viejo problema de mente y materia que planteó oficialmente Descartes¹, pero presente ya en la obra de Pitágoras, y que podemos situar en la reunión de mediados del siglo pasado que dio lugar a la Revolución Cognitiva.

El resultado ha sido y es impresionante, como es evidente cuando se estudian los nuevos campos de Representación del Conocimiento en sistemas expertos (KR) o el de Gestión del Conocimiento (KM), cuyos resultados nos interesan a los profesionales de la enseñanza, ya que la educación consiste en transferir la totalidad del conocimiento de una generación a la siguiente.

Es evidente que los adelantos en tecnología de la información de los últimos años han modificado profundamente el panorama de la enseñanza. Hace escasamente treinta años los niños no disponían de otra fuente de información que los libros de texto y los que encontraban en las bibliotecas públicas o en su domicilio. Y los profesores e investigadores debían utilizar gran parte de su tiempo en librerías, hemerotecas y bibliotecas de los centros de investigación donde encontrar obras de referencia y resultados de publicaciones científicas de gran calidad científica y de última hora. Los datos recogidos como resultado de estas tareas se guardaban en forma de notas tomadas a mano en cuadernos de trabajo o, en el mejor de los casos, en forma de fotocopias de los trabajos originales. Todo ello requería conocimientos y medios que no estaban al alcance de sus alumnos, lo que marcaba una clara diferencia entre estar sobre la tarima del profesor o en los pupitres del alumno.

En la actualidad, las técnicas de búsqueda de información y conocimiento explícito han cambiado completamente. Profesores y científicos acceden a información y resultados de investigación desde sus ordenadores, en su centro de trabajo o en su domicilio, por medio de potentes motores de búsqueda que realizan la labor de recogida y organización de datos cuyo resultado puede almacenarse en forma de archivos digitales, en documentos personales elaborados con la herramienta de corta y pega o como salida de su impresora. Y este trabajo se ha simplificado hasta el punto de que incluso un niño, en sentido estricto, puede realizarlo. Pero, desafortunadamente, ningún buscador puede distinguir entre información fidedigna o, incluso, con sentido común, de la que se encuentra en las páginas web de los astrólogos, los adivinadores, los partidarios de la ciencia ficción o los de asociaciones pseudocientíficas con fines dirigidos a intoxicar la opinión pública.

Y, como es evidente, es imposible contar con los conocimientos necesarios para juzgar cada uno de los contenidos que encontramos en la red. Por eso es necesario que los nuevos viajeros de la web hayan adquirido algún tipo de formación que les permitan distinguir ciencia de lo que no lo es (el famoso problema de la demarcación), diferenciar entre opiniones personales (aunque sean de personalidades relevantes) de teorías científicas y no confundir hipótesis de trabajo con el verdadero conocimiento científico. Y este es el tipo de formación que se pretende que adquieran al asimilar la Naturaleza del Conocimiento, que constituye un nivel más en la asimilación de lo que es la ciencia.

Todos los que formamos parte de este proyecto nos hallamos personal y profesionalmente involucrados en la enseñanza. Y todos nos hemos encontrado de manera continuada, y seguimos encontrándonos, en las dos situaciones de alumno que debe examinarse y de profesor que debe enseñar. Así nos hemos dado cuenta de que, si bien se aprende mucho en la posición de alumno que se prepara para un examen, cuando realmente se asimila el conocimiento y se hace necesario llegar a los fundamentos de lo que aprendemos, es cuando nos vemos en la necesidad de enseñarlo a otros.

La diferencia entre los enseñantes de las primeras etapas y el resto de las profesiones es que nuestro trabajo se desarrolla con seres humanos cuyas capacidades cognitivas (lo que podríamos denominar su *hardware*) se encuentran en constante desarrollo. Para darse cuenta basta comparar las capacidades intelectuales de cualquier niño al principio de curso y al final del mismo, nueve meses más tarde. Igualmente asombroso es la cantidad de conocimientos que ha adquirido (que corresponde, en principio, a la parte de *software*): transforma, con la ayuda de los

maestros, los conocimientos explícitos de los textos y programas en conocimiento implícito que se encuentra en sus mentes y que actúa como herramientas mentales *vygotskianas* que le facilitarán la adquisición de posteriores contenidos.

En este punto nos encontramos los que participamos en este proyecto Erasmus+. Todos debemos adquirir algunos conocimientos nuevos, fundamentalmente los que se refieren a la naturaleza de la ciencia, meditar sobre ellos y discutir entre nosotros las estrategias más adecuadas para enseñar las diversas disciplinas en cada etapa cognitiva de los alumnos. A lo largo del proyecto se elaborarán propuestas pedagógicas, que se discutirán dentro de cada grupo de trabajo y que se pondrán a prueba en nuestras aulas. Una vez hecho esto, discutiremos igualmente los resultados obtenidos y llegaremos a conclusiones que deberemos publicar como resultados de este proyecto.

Para guiarnos en estas tareas contaremos con unas líneas fundamentales, producto de las investigaciones más avanzadas sobre cuestionarios de evaluación diagnóstica referentes a la NOS, cuyos puntos vamos a emplear como temas de meditación y líneas fundamentales que definen la verdadera naturaleza de la ciencia que deberemos aprender y transmitir a nuestros alumnos de acuerdo con sus características.

El concepto de NOS, tal como se presenta en los trabajos de divulgación, se deriva de la forma en la que los científicos construyen el conocimiento científico y en sus características. Nosotros iremos un paso más allá en cuanto a abstracción, apoyándonos en el modelo de conocimiento de Piaget² (único modelo válido hasta ahora) que, como veremos, coincide exactamente con el esquema introducido por Kuhn³ para explicar la construcción del conocimiento de las comunidades científicas. Así, basándonos en las formas que se emplean en Inteligencia Artificial para resolver problemas de Representación del Conocimiento, El CSIC en la Escuela propone un esquema general de conocimiento (una generalización del de Piaget-Kuhn utilizando el lenguaje de informática, todo ello perfectamente conocido por los maestros), que ha sido de gran utilidad como teoría unificadora para plantear y resolver problemas referentes a la naturaleza del conocimiento.

Para terminar, queremos referirnos a las características del mundo en el que nos movemos, que es el objeto último de nuestro estudio. Es este un mundo de cuatro dimensiones, tres de las cuales definen el espacio por el que, dentro de nuestras posibilidades y con algunas limitaciones, es posible movernos. La cuarta dimensión, como todos nuestros alumnos saben, es el tiempo, por el que únicamente podemos avanzar, de forma obligada, en una dirección. Pero disponemos para librarnos de la poderosa ayuda de nuestra imaginación. Aunque nuestros sentidos

solo nos permiten ver una parte muy limitada de espacio y, dentro de ella, unos pocos objetos de un rango de tamaño muy reducido, por medio de los aparatos de observación que hemos desarrollado podemos llegar a ver el mundo microscópico y gracias a las teorías y modelos científicos es posible imaginarnos las partes del mundo submicroscópico, como las moléculas o los átomos responsables del comportamiento del mundo macroscópico. Y si invertimos el zoom, podremos también imaginarnos el universo más allá de lo que nuestros instrumentos de observación nos permiten ver, representando en nuestra mente galaxias y cúmulos. De la misma manera, somos capaces de imaginar el funcionamiento del cuerpo humano o la constitución de nuestro planeta, aumentando así la parte del mundo por el que podemos movernos.

Igualmente, utilizando el potente simulador que constituye nuestra mente, somos capaces de desplazarnos por el eje del tiempo, mediante modelos y teorías que construimos a partir de las fuentes históricas o prehistóricas, imaginando cómo vivían las personas en otros tiempos y cómo sus comportamientos y descubrimientos han influido sobre nuestra situación actual. Podemos, incluso, jugar con el pasado construyendo historias contra factuales e imaginando lo que hubiese ocurrido si en vez de vencer los romanos a los cartagineses hubiese ocurrido lo contrario. Es este un ejercicio de imaginación verdaderamente fascinante y muy parecido al que tienen lugar en nuestra mente cuando hacemos planes sobre el futuro utilizando siempre nuestro poder de simulación de la mente. Cuando a este simulador, con el que todos contamos, lo programamos con las leyes de la naturaleza, los modelos y las teorías científicas (tarea específica de los maestros), penetramos en un mundo fascinante al que no podemos sustraernos y que no debemos hurtar a nuestros alumnos.

La importancia del problema del conocimiento en la enseñanza

Una de las ideas más esclarecedoras sobre el tema de la enseñanza es la nueva concepción de la facultad de aprender, que los seres humanos tienen tan desarrollada. Como consecuencia de los trabajos modernos sobre construcción del conocimiento, biología evolutiva, psicología, etc., en este momento **se considera la transmisión del conocimiento como una nueva forma de evolución.** Efectivamente, nos estamos refiriendo a una evolución en el sentido biológico, darwiniano, de la palabra. La idea que les presentamos es una generalización de lo que podríamos llamar «adaptación intelectual».

Un buen ejemplo es el del comportamiento evolutivo del mamut y el hombre ante la última glaciación. Al producirle 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 le 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. La etapa de glaciación terminó bruscamente y mecanismos de evolución genética no permitieron 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, debido a que la forma de transmisión del conocimiento era mucho más rápida de modificar y adaptar que el mecanismo genético que descubrió Darwin⁴. En la figura les mostramos una representación gráfica que ilustra esta idea (**Imagen 1**).



Imagen 1. Superior. El largo camino de la evolución por «hardware». Inferior. El camino rápido de la evolución por «software». Modificado de López Sancho (2003).

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 solo unos miles de años hemos visto cómo el *homo sapiens* pasa de pobre 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, de 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.

Breve introducción a la naturaleza del conocimiento

Podemos comenzar nuestro discurso exponiendo el problema de mente y materia que, aunque siempre estuvo presente en filosofía, fue planteado como tal por René Descartes⁵ (**Imagen 2**). De una manera muy concisa consiste en la dificultad de explicar la comunicación de las ideas que se generan o almacenan en la mente, de esencia inmaterial, y en el cuerpo, de naturaleza material. ¿Cómo explicar que el deseo de extender el brazo, una idea, sea la causa de un acto material como el movimiento del brazo? El problema tiene su raíz en el platonismo, que parte de principio de que el mundo está formado por dos clases de elementos, las ideas y la materia. Este dualismo permanecerá sin resolver, como veremos, hasta mediados del siglo XX, en un famoso congreso que dio lugar a la Revolución Cognitiva.

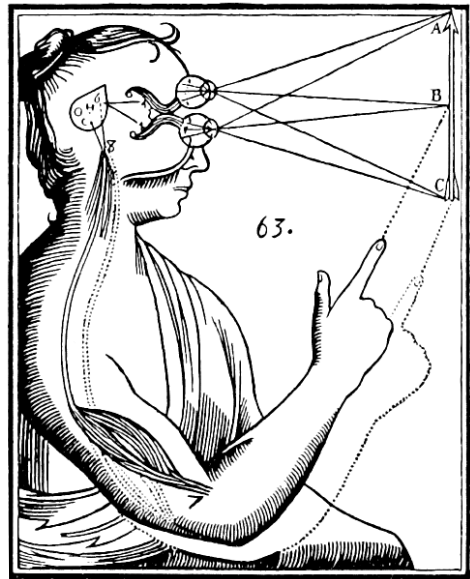


Imagen 2. Ilustración de Descartes sobre el dualismo en su obra *Tratado del hombre*. Fuente: commons.wikimedia.org.

El problema de la relación del mundo de las ideas, por un lado, y del mundo material, por otro, fue el primero que hubo de abordar la disciplina de Inteligencia Artificial, a la que nos hemos referido. La forma en que lo resolvió es, a parte de útil en nuestro discurso, muy interesante en sí misma, por lo que la expondremos brevemente.

En primer lugar citaremos la obra de Saussure:

Ferdinand de Saussure nació en Ginebra en 1857. Estudió en Leipzig y empezó a enseñar lingüística en París hasta que, en 1891, fue nombrado profesor de sánscrito (una lengua de la india). El último año de su vida impartió un *Curso de Lingüística General*⁶.

Tras la publicación, en 1922 del *Tractatus* de Wittgenstein⁷ el contenido del curso de Saussure se manifestó de gran relevancia pues plantea el significado de las palabras de una forma sincrónica, convirtiendo la investigación en una especie de estudio de instantáneas del lenguaje; esta idea la define Saussure (**Imagen 3**) de una forma extraordinariamente sintética: *una palabra significa aquello para lo que se utiliza*. Esta es la razón de que la misma palabra tenga significados muy distintos cuando se emplea en situaciones diferentes (piénsese en gato, por ejemplo).



Imagen 3. Ferdinand de Saussure. Fuente: commons.wikimedia.org.

Podemos generalizar esta idea diciendo que **el significado es el mecanismo de enlace entre un símbolo, sonido o gesto y una idea o concepto**.

Pero, como sabemos, las cosas del mundo son demasiadas para ponerlas nombre a todas. Es necesario formar conceptos: conjuntos de cosas, de infinitas cosas, de manera que podamos dar un nombre a esos conjuntos, construyendo así las ideas universales de Platón.

De acuerdo con estas conclusiones, el lenguaje es convencional y arbitrario; pero una vez establecido, una palabra significa algo porque **nos hace pensar** en una cosa determinada.

El símbolo es la palabra o el gesto. La **cosa** a la que nos referimos es lo que nos evoca. Y el proceso de la **evocación** en sí es **el significado**.

Esta definición de significado puede recordarnos a la de Kant para la estética. El intento de construir un puente que sirva de unión entre el mundo material y el espiritual, el mundo de las cosas con el de los conceptos. Pero en el lenguaje, ese enlace se realiza por medio de un convenio entre los que hablan; en cambio, en el arte es el artista el que crea el signo (mediante colores, formas, líneas, sonidos y volúmenes) y lo crea, con la intención de evocarnos una idea o un objeto de una forma automática (aunque basada en el paradigma del momento) sin necesidad de que antes tengamos que aprender el *idioma*.

El concepto de información

En la década de los 30 tuvo lugar, también, el nacimiento de una nueva disciplina, la teoría de la información. Se debió a los trabajos de Claude E. Shannon, publicados en *The Bell Systems Technical Journal* bajo el título *Mathematical Theory of Communication*⁸. Esta publicación dio lugar a la aparición de una nueva magnitud, la información, con una unidad de medida que todo el mundo conoce, el BIT.

Los autores de esta introducción son de la opinión de que, si bien en lingüística la hipótesis de Sapir-Whorf⁹ puede necesitar de una cierta puntualización o, incluso, ser muy contestada; en el aprendizaje de la ciencia su validez no deja lugar a dudas. La citada hipótesis establece una fuerte relación entre las categorías gramaticales del lenguaje (conceptos que posee una persona) y la forma en la que esa persona entiende, analiza, memoriza y modeliza el mundo. Cuando caminamos por el campo, un botánico *verá* muchas más especies de plantas que una persona que no sepa distinguir una especie de otra. Si necesitamos recorrer el camino que hemos llevado en sentido inverso, el botánico lo hará sin dificultad pues habrá memorizado las plantas que ha encontrado y que le servirán de guía. Un ejemplo de este fenómeno lingüístico es el aprendizaje de la física, cuyo primer paso consiste en mostrar al alumno una serie de conceptos inexistentes en el lenguaje corriente pero que resultan imprescindibles para analizar científicamente el mundo: fuerza, trabajo, presión, energía, entropía, etc. Son conceptos nuevos que definen magnitudes cuya existencia en el mundo real el alumno no podía imaginar y que, sin embargo adquiere con mucha facilidad durante el proceso de aprendizaje. Veremos un gran número de ejemplos a lo largo de este proyecto. De hecho, pensamos que este análisis conceptual del mundo corresponde a un tipo de representación que es clave en el caso del conocimiento científico.

Se da por supuesto que la capacidad de conceptualización es innata, el *lenguaje-L* de Chomsky¹⁰, como prueba el hecho de que Shannon lo realizara, pero una parte fundamental del aprendizaje es la conceptualización apropiada del mundo, lo que constituye la ontología en Representación del Conocimiento. Gracias a la aparición del concepto de información, podemos entender el papel del ADN en la codificación de las proteínas o la cantidad de datos que se pueden enviar o recibir por fibra óptica. A partir de Shannon el mundo pasa a estar constituido por materia (y energía), espacio (y tiempo) e información.

Puede parecer difícil que en el proceso de aprender los alumnos puedan adquirir fácilmente conceptos que han sido desarrollados a lo largo de la historia por personas de excepcional inteligencia. Es una capacidad del ser humano que Huxley

enunció apenas terminó de leer *El origen de las especies*, de Darwin. Cuando dejó el libro sobre la mesa, pensó: «qué idea tan sencilla, ¿cómo no se me habrá ocurrido a mí?»¹¹.

Sigamos ilustrando los acontecimientos relevantes para nuestra pequeña introducción. En 1936, Turing¹² publicó el diseño conceptual de un computador extremadamente simple, ya que solo contaba con una memoria externa (una cinta de papel infinita, dividida en casillas en las que se podían escribir, por ejemplo, unos y ceros) y una cabeza lectora que lee cada una de las casillas modificando su estado interno y, de acuerdo con un programa, hace avanzar o retroceder la cinta hasta situar la cabeza en una nueva casilla donde puede sustituir la información escrita en ella. Ese concepto, la máquina de Turing, aparte de responder cuestiones planteadas por Hilbert, demuestra la idea de que cualquier programa (*software*) puede *correr* en cualquier tipo de máquina (*hardware*) siempre que se adapte a ella (**Imagen 4**).

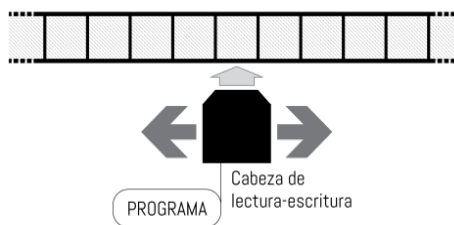


Imagen 4. Esquema de la máquina de Turing.

La revolución cognitiva

Gardner¹³ sitúa el comienzo de la Revolución Cognitiva a principios del curso 1948-49, cuando se celebró en el Instituto Tecnológico de California un simposio bajo el título de *Los mecanismos cerebrales y la conducta* (*Cerebral Mechanisms and Behavior*). Formaron parte de este evento científicos de muy diversas áreas. Von Neumann, la máxima figura en el campo emergente de la computación mediante máquinas electrónicas tenía interés en conocer el funcionamiento del cerebro humano para aplicar, si era posible, algunas de sus características al diseño de ordenadores; a la vez tenía la idea de que la organización de un ordenador, tal como él lo había concebido, podía servir como animal modelo para simular la mente humana; Warren Mc Culloch, importante neurofisiólogo, tenía la idea de que, una vez conocido el funcionamiento neuronal, podría simularse en un ordenador o máquina de Turing. Y Karl Lashley, psicólogo conductista interesado en los mecanismos del aprendizaje y su relación con la memoria.

George Miller¹⁴, por su parte, piensa que el momento más importante de la Revolución Cognitiva fue la presentación por Noam Chomsky de su nueva gramática generativa. Unos años más adelante, en 1959, publicó un estudio crítico de la

obra de B.F. Skinner (*Verbal Behavior*) en la que critica la forma de estudiar el lenguaje (mediante el análisis de habla producido por la mente), proponiendo una verdadera *teoría* en la que se dan las reglas para la producción del habla.

Sea como sea el comienzo de este nuevo paradigma (en el sentido de Kuhn), lo que es importante para el tema que nos ocupa es que, de acuerdo con la modelización propuesta por Von Neumann, podemos representar la mente por un ordenador en el que el cerebro es el *hardware* y el pensamiento los programas que corren en él. Y, de acuerdo con la concepción de *software* y *hardware* de Turing, podemos estudiar el funcionamiento de la mente centrándonos en el programa, llegando a conclusiones que serán verdad independientemente de cómo funcione el cerebro.

Otra línea de investigación muy activa en la actualidad se centra, justamente, en estudiar la estructura del cerebro y como se procesan diferentes tipos de conocimiento¹⁵. Parece demostrada la existencia de módulos específicos cuyo funcionamiento defectuoso produce dislalia, dislexia o discalculia, lo que facilita el diagnóstico de estos problemas mediante el uso de aparatos especiales de resonancia magnética en tiempo real. Pero este tema se sale de nuestros objetivos.

La representación del conocimiento en Inteligencia Artificial

Ludwig Josef Johann Wittgenstein nació el 26 de Abril de 1889 en Viena, en una de las familias más acaudaladas de la ciudad. Brahms, Mahler y Casals frecuentaban el palacio de los Wittgenstein. Hasta los catorce años su educación estuvo a cargo de profesores particulares, pero a esa edad sus padres lo enviaron a la escuela de Linaz, donde coincidió con Adolf Hitler, casi de su misma edad. En 1906 comenzó sus estudios de ingeniería, que continuó a partir de 1908 en Manchester. Pero su interés cambió allí hacia la lógica, posiblemente por la influencia de Frege, uno de sus profesores. Por indicación suya fue a estudiar a Cambridge, donde conoció a Bertrand Russell, diecisiete años mayor que él, al que le unió una gran amistad.

Poco después de comenzar la guerra de 1914 se alistó como voluntario en el ejército alemán. Durante la contienda escribió una de las obras más importantes de la filosofía contemporánea, su famoso *Tractatus Logico Philosophicus*. Esta obra marca la aparición de la *Filosofía analítica*, base del estructuralismo en todas sus ramas. Trata de la esencia del lenguaje, de las matemáticas, la lógica y la ciencia, y contiene observaciones y comentarios sobre la ética y la religión. Con ella Wittgenstein pasó a ser reconocido como uno de los filósofos más importantes de la historia.

Tras la guerra empezó a desarrollar nuevas opiniones, diferentes de las enunciadas en el *Tractatus*. Estas quedaron plasmadas en su segunda gran obra, *Investigaciones Filosóficas*, que se publicó dos años después de su muerte.

Wittgenstein nos refiere un hecho que le dio la clave para desarrollar su teoría sobre el pensamiento, que se basa en una representación mental del mundo exterior y que es la base de la representación del conocimiento.

Ocurrió en el desarrollo de un juicio legal referente a un accidente de circulación. En el juicio se emplearon coches de juguete para reconstruir el accidente y, de acuerdo con los testimonios de los diferentes testigos, se representaron las distintas formas en que se decía que ocurrió el accidente (**Imagen 5**).



Imagen 5. Ilustración sobre el juicio al que se refiere Wittgenstein. Modificado de López Sancho (2003).

Para Wittgenstein, los cochecitos hacían en nuestro pensamiento el mismo papel que las ideas evocadas por las palabras: sustituían las cosas del mundo.

En 1956, John McCarthy¹⁶ utilizó por primera vez la expresión «inteligencia artificial», para designar el arte de construir máquinas y programas capaces de resolver problemas por sí mismos.

El problema de la representación del conocimiento

Como hemos anunciado, utilizaremos la sugerencia de Von Neumann de modelizar la mente como un ordenador que dispone de memoria (tanto para datos como para programas) y de capacidad para aplicar un subconjunto de la lógica de primer orden (*if-then statements*)¹⁷ fácilmente implementable por elementos electrónicos que funcionan de acuerdo con el álgebra de Boole¹⁸.

Para entender un primer modelo de representación de conocimiento dividiremos el mundo en dos partes, el mundo real y el modelo de mente del tipo Von Neumann¹⁹. En la parte inferior se encuentra el mundo real, con sus objetos y sus procesos. En la parte superior se halla nuestra mente, donde hemos almacenado una representación muy simplificada de la parte del mundo real que conocemos. La operación más importante que nos permite llevar a cabo esta representación es la conceptua-

lización, por medio de la cual reunimos en una única idea los infinitos elementos que forman dicho concepto. Los niños presentan esa capacidad desde muy pequeños, antes de que sean capaces de hablar, y forman el concepto *perro*, por ejemplo, a partir de haber establecido contacto con unos pocos ejemplares. Lo mismo ocurre con conceptos más difíciles, como justicia, cariño, autoridad, que van adquiriendo muy rápidamente y que son la base del pensamiento y del lenguaje. De acuerdo con Saussure, el enlace entre el mundo real y el de la representación corre a cargo de la semántica, que proporciona las etiquetas que relacionan el mundo real con el de las representaciones mentales y que permiten que las distintas representaciones de diferentes personas se pongan en relación unas con otras por medio del lenguaje. Una misma palabra, *perro*, evocaría en los hablantes del español la misma idea o concepto. A la vez, la universalidad del lenguaje a que se refiere Chomsky hace posible la traducción entre diferentes lenguas, ya que la palabra *dog* evocaría en los que hablan inglés la misma idea o referente al que nos referimos.

La representación simplificada e idealizada de la parte del mundo exterior que queremos estudiar (o que nuestra capacidad cerebral nos permite esquematizar) recibe el nombre de **modelo**. En ella se hallan los sucedáneos de los objetos reales y de su comportamiento, y sobre ellos actuamos con una herramienta innata que la mente utiliza para deducir e inferir reglas, la lógica. Esta herramienta forma parte de la batería de *software* (o *firmware*) con el que nacemos, entre las cuales se encuentra el de generación del lenguaje que, como hemos dicho, postula Chomsky.

En esta representación el primer software que funciona es el lenguaje materno. Con su ayuda se puede describir cualquier situación, real o imaginada, con tal de que se conozca el léxico correspondiente (la ontología). Y todos los seres humanos educados en sociedad llegan a dominar el lenguaje materno.

Cualquier problema que nos planteemos o que intentemos resolver se lleva a cabo mediante operaciones que tienen lugar en la mente, igual que las historias imaginadas, los pronósticos que realicemos o las innovaciones que creemos. Y, lógicamente, el conocimiento que tenemos del mundo se halla en nuestra mente y solo en nuestra mente, por lo que cuanto más exacta y detallada sea la representación, mayor será nuestro conocimiento.

No debemos creer que esta descripción es original o que ha sido inventada por los científicos e ingenieros de Inteligencia Artificial. De hecho, lo encontramos en Platón que, inspirándose en Pitágoras, llega a la conferir más realidad a las ideas que formamos en la mente que a los objetos que representan, postulando que solo las ideas tienen existencia real y que el mundo está formado por una especie de copias imperfectas o sombras de estas ideas. Así lo describe en su *República* (libro

VII) en un diálogo entre su hermano Glaucon y su maestro Sócrates, y en otra de sus obras, el Menón²⁰ (donde un esclavo iletrado, hábilmente dirigido por Sócrates, es capaz de resolver un complicado problema de geometría), explica que todas las personas contamos con la lógica de forma innata.

Aristóteles modifica este modelo de conocimiento al rebajar las ideas de Platón a productos del procesamiento humano de la realidad, llamándolos universales, es decir, conceptos formados por las personas como resultado de su análisis del mundo²¹.

Si seguimos con la historia, deberíamos volver a citar en este punto a Descartes, que acepta la división entre el mundo material y el mundo espiritual donde tiene lugar la existencia de las ideas, señalando la dificultad de imaginar una comunicación entre tan diferentes mundos.

Siguiendo nuestro camino por el tiempo, la Revolución Cognitiva nos trae una propuesta de solución al problema de Descartes al postular, empleando el modelo de Von Neumann, que el cerebro es el *hardware* del ordenador y el pensamiento el *software*.

El siguiente paso nos lleva a Piaget, cuya obra se extiende a lo largo de todo el siglo XX. Piaget postula un mecanismo de conocimiento equivalente al que estamos tratando. Él denomina *esquema* a la representación que las personas elaboran en sus mentes como sucedáneo del mundo real. En esta representación se llevan a cabo las simulaciones de los procesos que ocurren al otro lado de la línea, e introduce una operación muy importante, la de comparar los resultados obtenidos por la simulación mental con lo que en realidad tiene lugar en el mundo real. Esta operación, que él denomina *asimilación* (**Imagen 6**), tiene por objeto comprobar que ambos resultados coinciden, cumpliéndose el deseado isomorfismo entre realidad y esquema.

Piaget introduce, asimismo, la importante operación de corrección del esquema mental, en el caso en el que falle la coincidencia entre el resultado obtenido en la

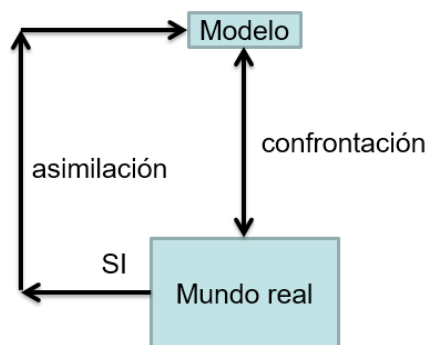


Imagen 6. Representación del proceso de asimilación, dentro de la caja. Modificado de Gómez y López Sancho (2013).

mente. Este nuevo proceso mental, que él llama *acomodación*, consiste en modificar el esquema (**Imagen 7**) que se comprueba inexacto por otro que se adecúe a los nuevos resultados observados²².

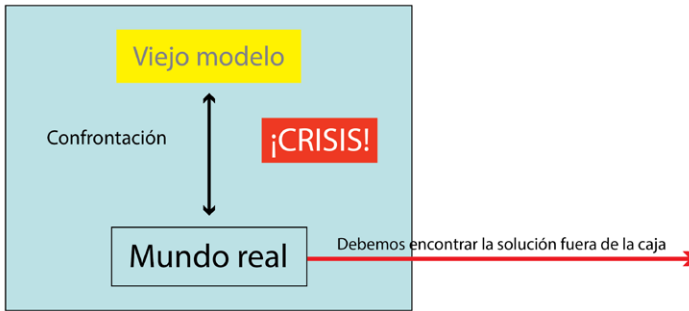


Imagen 7. Representación del proceso de acomodación, «fuera de la caja». Modificado de Gómez y López Sancho (2013).

Como es evidente, el proceso de *acomodación* constituye el mecanismo por el que los seres humanos generan nuevo conocimiento. Este mecanismo requiere de procesos creativos: los que se encuentran fuera de la *caja* que es regida por la lógica

deductiva. El traslado de este tipo de procesos al campo de la inteligencia artificial se encuentra en estudio actualmente.

Siguiendo con nuestro recorrido, llegamos a Kuhn, cuya obra toma el modelo de Piaget y lo aplica al caso del conocimiento científico, aplicándolo al caso de las comunidades científicas que, a pesar de estar formadas por personas, tienen sus

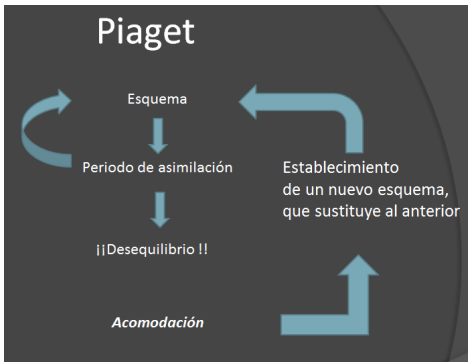


Imagen 8. Modelo de Piaget para los mecanismos de generación de conocimiento. Modificado de López Sancho (2015).

propias reglas de comportamiento. Para Kuhn, lo que Piaget llama esquema pasa a ser representaciones que se desglosan en leyes, modelos y teorías. Los periodos en los que una representación explica la realidad (es decir, sus predicciones coinciden con las observaciones) son periodos de ciencia normal y, cuando esta coincidencia deja de ocurrir, tienen lugar un periodo de desconcierto o de crisis, durante el cual se produce una modificación de paradigma (revolución científica equivalente al acomodación de Piaget²³). El esquema sigue siendo el mismo (**Imagen 8**).

En este punto debemos aclarar que Piaget utiliza su modelo de representación de conocimiento no solo para explicar su mecanismo de elaboración de ese conocimiento sino para estudiar la evolución del *hardware* o capacidad cognitiva de los

niños correlacionándola con la edad, dando lugar a las famosas etapas del desarrollo mental, caracterizadas por cambios cualitativos en la capacidad cognitiva.

Piaget determina el estadio de desarrollo del *hardware* del niño planteando problemas cuyo planteamiento comprende perfectamente, pero para cuya solución necesita conceptos o mecanismos de inferencia que todavía no posee.

Muchos autores han criticado a Piaget (ver Matusov *et alii* en lecturas recomendadas) basándose en la inexactitud de sus apreciaciones en cuanto a las edades que separan estos estadios, sin darse cuenta que la genialidad del planteamiento radica en señalar la existencia de esos estadios, apuntando la posibilidad de determinar en cuál de ellos se encuentra el niño.

Como vemos, es posible elaborar un modelo de conocimiento que se acomode tanto a los que se han aplicado a los seres humanos como a los inventados específicamente para las máquinas. Por esa razón vamos a exponer nuestro modelo simplificado de conocimiento científico, con la intención de que sirva de guía para entender los procesos que trataremos en lo que sigue.

Representación no es igual a realidad

Una idea que debemos transmitir a nuestros alumnos es la de la naturaleza ficticia e imaginada de los modelos científicos. Como deja claro Magritte, una cosa es una pipa y otra muy diferente es la representación de una pipa, por mucho que se puedan parecer la una a la otra (**Imagen 9**).



Confundir realidad y representación es un error grave y que no solo se ha dado en enseñanza. En algunos casos, como en el paso del modelo geocéntrico de Ptolomeo al modelo heliocéntrico de Copérnico, la defensa de uno frente a otro fue mucho más allá de lo razonable y trascendió al campo puramente científico.

Imagen 9. Cuadro de Magritte. *Esto no es una pipa*. 1928. Fuente: Flickr.com.

Datos, información y conocimiento

A continuación, una vez establecido lo que es un modelo, definiremos lo que son datos, información y conocimiento, siguiendo el planteamiento del campo de Ingeniería de la Información²⁴.

El **conocimiento** que tenemos de nuestra vivienda se puede concretar en el esquema que de ella almacenamos en nuestra mente. Además de lo que podríamos definir como un mapa de la misma, tenemos una serie de *reglas o leyes* que lo complementan, sin las cuales el mapa no tendría utilidad. Así, sabemos que no podemos atravesar las paredes, que las puertas pueden estar cerradas o abiertas, las luces encendidas o apagadas, que por la noche debemos llevar una linterna si queremos entrar en el garaje o que hay un escalón en la entrada donde podemos tropezar. El único sitio en el que, por el momento, podemos almacenar conocimiento es en la mente, porque dispone de mecanismos lógicos que nos permiten tomar decisiones sobre nuestros actos. Si existen dos caminos que nos llevan al garaje desde la cocina, por medio del conocimiento del que disponemos y de los mecanismos de deducción e inferencia que poseemos podremos tomar una decisión sobre el camino que nos conviene seguir.

La mente (recordemos que la mente está formada por el cerebro más los programas o herramientas innatas y adquiridas, del tipo de las de Vygotsky²⁵) elabora los esquemas que contienen el conocimiento a partir de observaciones del mundo exterior, que consigue a través de sus sentidos.

Los **datos** son lo que percibimos del mundo a través de nuestros sentidos. En muchos trabajos, como en el lenguaje corriente, confundimos datos con información. Los datos se encuentran en el mundo real y no pueden almacenarse o perderse. Son datos la distancia entre dos ciudades, el número de alumnos de nuestra clase y las alturas de cada uno de ellos. Están en el mundo real y no pueden destruirse. Por eso es absurdo pensar que se pueden perder datos. Pero si medimos la distancia por carretera entre dos localizaciones, obtenemos un número seguido del nombre de la unidad empleada para medirla. Hemos extraído, a partir de los datos, la **información** que nuestro cerebro puede manejar y manipular para construir conocimiento. Esta distancia es la información que hemos obtenido en lo que normalmente se llama recogida de datos pero que, en realidad, es recogida de información.

Si no manejásemos información solo podríamos construir conocimiento a través de la observación directa del mundo. Pero, además, podemos recibir información por medio de fotografías, mapas, descripciones escritas o recitadas, etc., que nos proporcionan información que otros han elaborado a partir de observaciones del mun-

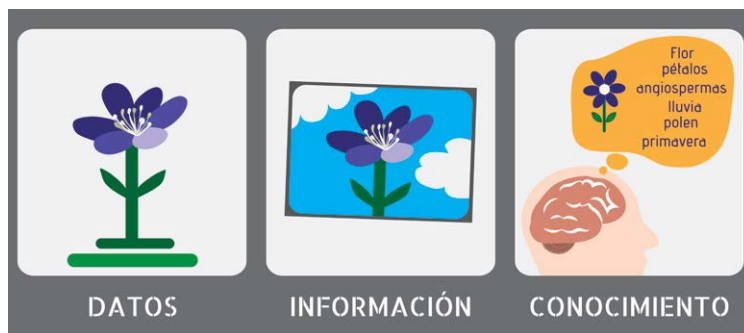


Imagen 10. Esquema que ilustra las diferencias entre datos, información y conocimiento.

40 años, eso constituye un dato que no puede cambiarse. Es la realidad. Pero la información sobre su edad que figura en el carnet de identidad sí puede ser falseada. Y, como vemos, el dato no puede perderse, transportarse o robarse ni manipularse, al contrario de la información (**Imagen 10**).

La información es importante porque es el único reflejo de la realidad que pasa a la mente desde el mundo real. Como todos sabemos, la información se puede someter a innumerables operaciones que facilitan su asimilación o su utilización. Entre estas manipulaciones se encuentran las formas de presentarla. A veces se utilizan tablas, otras veces representaciones gráficas en forma circular, barras, etc. A continuación trataremos el caso especial de la ciencia, que es el que nos interesa.

Las leyes, la forma más eficiente de almacenar información

Partiendo del esquema general de representación del conocimiento, que divide nuestro espacio de trabajo en realidad y representación mental, el conocimiento científico, la ciencia, se limitará al estudio de la parte de la realidad formada por los **observables que pertenezcan a la clase de las magnitudes**, lo que de acuerdo con la definición que se da en las escuelas, son cosas que se pueden medir, pesar o contar. La masa, el peso, la longitud, los intervalos de tiempo, etc., son magnitudes. Esta elección nos limita inmediatamente la parte del mundo que constituye el objeto de la ciencia, dejando fuera del campo de estudio la mayoría de las cosas importantes de nuestra realidad. El amor, el odio, la justicia y tantas cosas importantes quedan fuera del campo de la ciencia, lo que constituye una primera aproximación al problema de la demarcación entre conocimiento científico y no científico. Por supuesto, en esta limitación no se incluyen los conceptos que forman parte del procesamiento lógico de la información obtenida.

do y que podemos asimilar fácilmente.

Es muy importante distinguir entre datos (que se encuentran en el mundo) e información. Por ejemplo, si la edad de una persona es

A veces los conceptos son difíciles de definir y es conveniente iniciar el proceso de aprendizaje mediante un ejemplo. Supongamos que hemos decidido investigar el proceso geométrico de la refracción de la luz cuando pasa del aire al agua, por ejemplo. El primer paso consiste en definir perfectamente los conceptos y magnitudes que toman parte en el proceso que queremos estudiar. El primero de estos conceptos es el rayo luminoso y trayectoria de la luz; el segundo es geométrico y sirve para describir la forma de la trayectoria, recta o curva y, si es necesario, el tipo de curva. También intervienen los conceptos de fuente de luz, medio transparente, ángulo de incidencia y ángulo de refracción, que deberemos definir cuidadosamente, preferiblemente ayudados por una figura (**Imagen 11**).

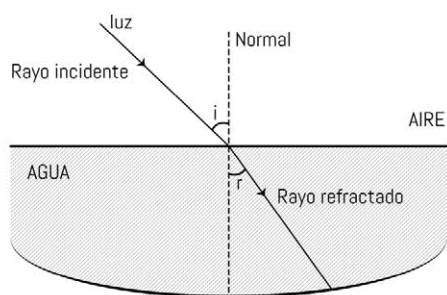


Imagen 11. Esquema que incluye la ontología del fenómeno de la refracción de la luz entre el aire y el agua.

Al conjunto de conceptos que intervienen en la descripción del fenómeno (representados en el modelo) lo llamamos **ontología** del problema y su papel es clave en el proceso de obtención de conocimiento. Cuando un profesor prepara su clase, debe organizar los conceptos que intervienen mediante un mapa conceptual, preferiblemente utilizando la técnica constructivista de Novak²⁶, llegando en su análisis hasta un nivel conceptual que sea conocido y manejado

por sus alumnos (nivel significativo de Ausubel)²⁷.

Si meditamos un poco sobre la naturaleza de las representaciones, nos daremos cuenta de que la ontología determina el modelo que hemos decidido utilizar de la realidad. En el caso de la refracción, el modelo más sencillo es el de Ptolomeo (siglo II a. C.) en el cual la luz se propaga de forma instantánea a partir de la fuente, a lo hace en línea recta (siempre que no cambie de medio) siguiendo unos caminos que reciben el nombre de rayos. Por esa razón no aparecen en la ontología de la representación los conceptos de velocidad de propagación ni tiempo empleado.

A continuación, con la ontología bien aprendida y comprendida por los alumnos, prepararemos en el aula (que es nuestro laboratorio), un montaje apropiado que nos permita medir todas las magnitudes que intervienen en el proceso, como el que mostramos a continuación. Dispondremos de una cubeta en forma de «D», que podremos llenar de agua, y de un par de transportadores que nos permitirán determinar la medida de los ángulos. Asimismo, dispondremos de un láser rojo de pequeña potencia que nos permitirá visualizar la trayectoria del rayo.

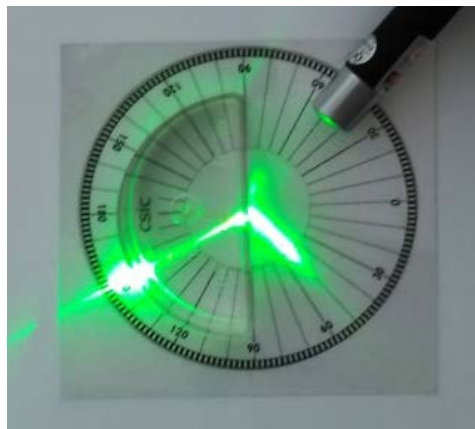


Imagen 12. Montaje experimental para medir la refracción de la luz entre el aire y el agua.

Seguidamente encendemos el láser y procedemos a determinar pares de valores que correspondan a ángulos de incidencia y refracción, tantos como deseemos (**Imagen 12**). Estos valores constituyen la información que hemos recogido de la realidad mediante el proceso de experimentación. Podemos presentar estos pares de valores en dos columnas, bajo los epígrafes correspondientes, y esta tabla constituye toda la información de la que disponemos. Con ella podremos predecir el ángulo de refracción que resultará para cualquier ángulo de incidencia de los que tenemos en la tabla.

Pero la utilidad de nuestros resultados experimentales sería mucho mayor si nos permitiera conocer el ángulo de refracción correspondiente a cualquier ángulo de incidencia posible, no solo de los que hemos determinado en nuestro experimento. Es inmediato pensar, dada la regularidad de los valores de las dos columnas, en alguna forma de interpolación pensando que si el valor del ángulo de incidencia se encuentra entre dos de los valores de la tabla, el correspondiente ángulo de refracción se encontrará, lógicamente (atención al proceso de inferencia), entre los que corresponden a esas incidencias. Y la forma más sencilla de preparar la información de manera que el proceso de interpolación sea sencillo es, sin duda, representar la tabla de valores en forma de una curva de dos dimensiones en los que los dos ejes sean las dos variables (**Imagen 13**).

Pero, ¿podríamos *comprimir* aún más la información de que disponemos? Todos conocemos la respuesta. Si pudiéramos encontrar una función matemática de dos variables que representase la curva de nuestra gráfica, dispondríamos de toda la información de una tabla de infinitas filas y estaría contenida en una simple ecuación. Esta ecuación nos es familiar a todos, es la fórmula de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen}(i) = n_2 \cdot \text{sen}(r)$$

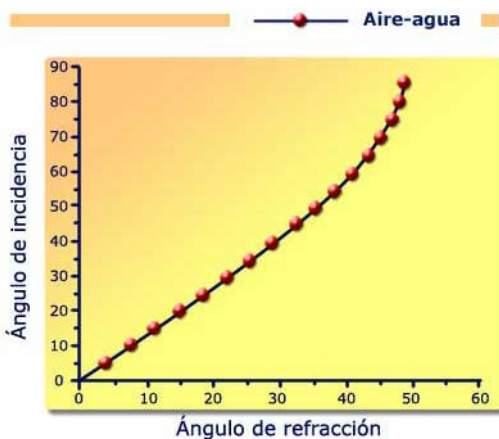


Imagen 13. Representación gráfica de los valores de los ángulos de incidencia y refracción.

i y r son los ángulos de incidencia y refracción de los que se calculan los valores de sus senos, y n_1 y n_2 dos parámetros, los índices de refracción, cuyos valores tienen que ver con las características físicas de ambos medios (aire y agua, en este caso).

Todos somos conscientes de la dificultad de *descubrir* la ley de la refracción. La empresa comenzó en el siglo II a. C., en Alejandría, cuando el astrónomo Claudio Ptolomeo elaboró tablas de valores de los dos ángulos involucrados en el proceso, pero no llegó a enunciar la ley. Descubrir una ley es, sin duda, una tarea difícil y no exenta de creatividad e inventiva. De hecho, la palabra que se emplea, descubrir, se deriva de la creencia enunciada por Leucipo de que *las leyes han sido establecidas por los dioses*, de manera que la naturaleza se comporte siempre conforme a sus deseos. Si buscamos en internet encontraremos opiniones a favor y en contra de la existencia de las leyes de la naturaleza; muchas personas están convencidas de que tienen una especie de existencia propia, siendo una de las labores del científico el descubrirlas. Otros autores prefieren pensar en las leyes como el resultado de un tratamiento apropiado de los resultados de las medidas, eliminando redundancias, concentrando la información contenida en la interminable lista de parejas de valores que hemos obtenido para los ángulos i y r a una sencilla ecuación matemática. Debemos dejar muy claro que en la fórmula correspondiente a la ley de Snell, i es el resultado de la medida del ángulo de incidencia y r es el resultado de la medida del ángulo de refracción, por lo cual la formulación de Snell de la ley de la refracción se realiza por medio de una **ecuación entre medidas**, estando incluidas en esta forma las leyes de conservación.

En realidad, el pensar que las leyes existen en la naturaleza y son descubiertas por las personas o el suponer que son solo una forma de almacenar información apropiada para la forma en que funciona la mente de los seres humanos (cuestión muy discutida, como puede comprobarse utilizando el buscador Google) es una cuestión que pertenece a la metafísica y, por ello, no tienen importancia práctica a la hora de hacer ciencia. Pero sí queremos poner de manifiesto que la búsqueda de regularidades en el comportamiento del mundo es un comportamiento innato en nuestra especie. Los niños, desde muy pequeños, almacenan la información de forma compacta formulando leyes. Una de las primeras que descubren es la permanencia de los objetos, es decir, que las cosas no desaparecen sin más. Por eso podemos jugar con ellos, incluso antes de que comiencen a andar, a esconder un objeto con la seguridad de que lo buscarán hasta dar con él.

Sea la que sea la naturaleza de las leyes, debemos saber que se pueden enunciar de manera muy diferente. En la ley de Snell es evidente que el modelo que utiliza, el de rayos, supone que la luz se transmite de forma instantánea y en línea recta, sin que en su **ontología** aparezca la velocidad de propagación. En cambio, Fermat utiliza

un modelo diferente de luz, constituida por partículas que se desplazan por el espacio con una velocidad distinta para cada medio y cuyo valor es proporcional al inverso del índice de refracción. Utilizando esta representación (o modelo) la ley de Fermat (que él llamó principio) establece que la luz cuando se propaga de un punto a otro sigue el camino por el cual el tiempo que tarda es mínimo (**Imagen 14**).

$SO/n_1 + OP/n_2$ es mínimo

Como no podría ser de otra manera, ambos enunciados, el de Snell y el de Fermat, conducen al mismo resultado, aunque el segundo contiene la semilla de la formulación de Feynman de la mecánica cuántica.

Si realizamos experimentos con otros líquidos transparentes veremos que la ley de Snell (o la de Fermat) se cumple en todos los casos y admitiremos que nuestra sencilla ley se cumple en el caso de cualquier sustancia transparente. Pero, si meditamos un poco sobre el proceso mental seguido, veremos que hemos extendido los resultados obtenidos a partir de unos pocos casos a los innumerables materiales transparentes que puedan existir en un proceso de generalización con poca base. Es así la forma en la que trabaja la mente humana, en general con buenos resultados, pero debemos estar siempre preparados para encontrar (e incluso buscar) situaciones en las que no se cumplen nuestras leyes, enunciadas tan alegremente.

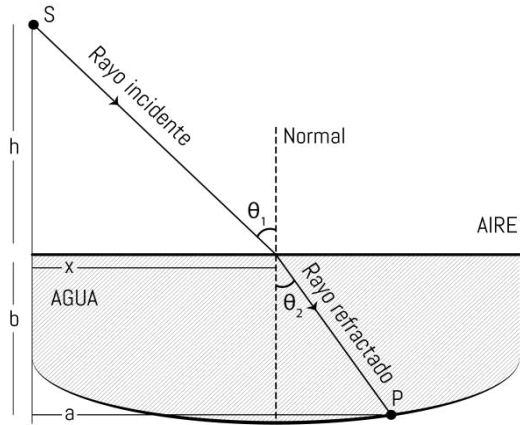


Imagen 14. Esquema que incluye la ontología del fenómeno de la refracción de la luz entre el aire y el agua, según la ontología que usa Fermat.

Para terminar con el apartado de las leyes diremos que la representación mental funciona de una manera semejante a una construcción matemática, cuyo prototipo es la geometría de Euclides. Una vez elaborado el modelo, con sus magnitudes y procesos de observación y medida que lo relacionan con el mundo real, colocamos las leyes de la naturaleza en el papel de los postulados matemáticos y procedemos con la misma lógica deductiva con que lo haríamos en matemáticas.

Qué es una teoría

Supongamos que queremos investigar la disminución del volumen de los gases cuando se comprimen. Este proceso lo estudió Robert Boyle (**Imagen 16**) cuando tenía algo más de treinta años, publicando sus resultados en una obra titulada *Sobre la Elasticidad del Aire*.

La ontología de la representación es muy simple, puesto que solo intervienen los conceptos de gas, volumen y presión. Si se desea se puede incluir el concepto de temperatura, ya que esta debe permanecer constante para la ley de Boyle se cumpla, como puntualizó Edme Mariotte unos años más tarde. Para estudiar este proceso procederemos, como siempre, a realizar experimentos en los que podamos modificar cualquiera de las dos variables que intervienen. Para ello podemos utilizar una jeringuilla con el cuerpo graduado en centímetros cúbico y con émbolo, unida a un manómetro que indique la presión de su interior en atmósferas. Procedemos a modificar el volumen comprimiendo o expandiendo el volumen la jeringuilla y anotando la presión para cada valor del volumen. Obtenemos así, como en el experimento de la refracción, pares de valores que indican la presión del gas para cada posición del émbolo. El resultado es siempre similar al siguiente (**Tabla 1**):



Imagen 16. Retrato de Boyle. Fuente: commons.wikimedia.org.

V (cc)	P (atm)
1	1
2	0.5
3	0.33
4	0.25

Tabla 1. Pares de valores de volumen y presión en un gas confinado en una jeringuilla.

Enseguida nos daremos cuenta de que la información de la tabla se puede reducir a una simple ecuación:

$$P \cdot V = \text{constante}$$

Tenemos pues la representación de una parte del mundo (los gases) y la ley que nos permite predecir los resultados de cualquier proceso que corresponda al modelo que hemos descrito.

Inmediatamente los científicos se interesaron por la naturaleza de los gases, cuya naturaleza era desconocida. En realidad, se sabían algunas cosas; el hielo pasaba a agua líquida cuando se calentaba y si se aumentaba aún más su temperatura terminaba por pasar a vapor de agua, en un proceso que podía invertirse con solo disminuir la temperatura. Por esa razón el hielo, el agua y el vapor debían estar hechos de la misma sustancia. Como es lógico, era un caso muy apropiado para recuperar las ideas atomistas de Leucipo y Demócrito, que hacia el siglo IV a. C. postularon la existencia de los átomos, partículas indestructibles y características de cada sustancia.

Así pues, si admitimos que los tres estados del agua están constituidos por el mismo tipo de partículas hemos introducido una modificación en nuestro modelo, que representa los gases como formados por moléculas (en lenguaje moderno) que no se modifican en los cambios de estado. En los sólidos las moléculas estarían rígidamente unidas una a otras conservándose el volumen y la forma; en los líquidos podrían deslizarse unas sobre otras, pero manteniéndose en contacto entre sí, permaneciendo fijo el volumen y adoptando la forma del recipiente que los contiene; en estado gaseoso, en cambio, las moléculas se moverían libremente por todo el espacio disponible.

Esta afirmación (por lógica y razonable que parezca), era imposible de demostrar en el siglo XVII, pero explicaba la reversibilidad de los cambios de estado. Una hipótesis de este tipo constituye una teoría.

Medio siglo después, hacia 1740, Daniel Bernoulli perfeccionó la teoría suponiendo que las moléculas de un gas eran tan pequeñas que resultaban invisibles para el ojo humano, estaban animadas de una enorme velocidad y se comportaban como pelotas perfectamente elásticas²⁸. Cuando chocaban con las paredes del recipiente ejercían una cierta fuerza sobre ella, de la misma manera que una pelota de tenis ejerce una fuerza sobre la raqueta cuando rebota en ella (**Imagen 17**).

Y esta fuerza era la responsable de la presión ejercida por el gas. Si disminuimos el volumen de la jeringuilla a la mitad, las moléculas chocarán contra las caras del cilindro dos veces más por unidad de tiempo que antes, aumentando su presión al doble. Lo importante es que de este modelo, complementado con las características de las moléculas, se deduce la ley de Boyle-Mariotte, una ley experimental, y esto hace del modelo y sus hipótesis, una auténtica teoría.

Para fijar ideas y mostrar que las teorías no solo aparecen en las ciencias duras, podemos citar el caso de la teoría de la gramática generativa de Noam Chomsky. El estudio del lenguaje hasta la revolución cognitiva había consistido en investigar la estructura de las lenguas y su evolución, pudiéndose decir que el objetivo era descubrir las leyes que existían en el lenguaje, de la misma manera que Boyle descubrió la ley que regía el comportamiento de los gases. Pero Chomsky modificó completamente la forma de enfocar el estudio, inventando un mecanismo por el que se generan las oraciones de la lengua, de la misma manera que Bernoulli ideó una teoría que conducía a la ley. Por eso, tanto la gramática de Chomsky como la cinética de Bernoulli son auténticas teorías.

¿En qué forma explica la ciencia los hechos que caen en su campo?

Este es también un campo de gran actividad tanto en ciencia como en la enseñanza de la misma. Si recurrimos a nuestra experiencia y nos preguntamos qué esperan los alumnos de la ciencia, llegaremos a la conclusión de que lo que esperan son teorías que coincidan con la verdad, posición que se identifica con el idealismo científico. Pero esta respuesta nos lleva directamente al campo de la metafísica, ya que nos obliga a definir de alguna forma lo que es la verdad y lo que no lo es, materia, cuando menos, delicada.

Si bien es cierto que las teorías, como la cinética de gases, la teoría atómica o el modelo estándar, al pasar el tiempo y desarrollarse instrumentos de observación más potentes suelen transformarse en simples modelos. Una vez que podemos

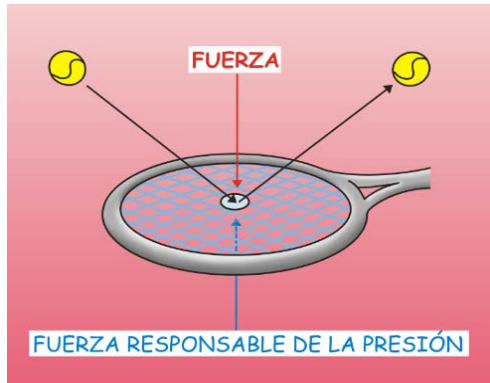


Imagen 17. Analogía entre la presión de una pelota de tenis en la raqueta y la presión de las moléculas de un gas en las paredes de un recipiente. Modificado de López Sancho et al. (2006).

observar las moléculas, medir sus masas y determinar sus velocidades, la teoría cinética deja de ser una teoría. Lo mismo pasa con la teoría atómica de Bohr del hidrógeno cuando descubrimos la existencia de protones, electrones y neutrones, medimos sus cargas y predecimos las líneas espectrales. Pero este no es siempre el caso. A veces nos vemos obligados a manejar, durante largos periodos de tiempo, dos teorías diferentes y a veces contradictorias (como ocurrió hasta mediados del siglo XX con las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz), que se debían utilizar de acuerdo con el tipo de proceso que se tratase. Ambas eran ciertas y ambas eran falsas, dependiendo del experimento que se realizase²⁹.

Como, en estos casos, ambas teorías no podían ser verdaderas a la vez, se adoptan unas condiciones más prácticas y propias del empirismo científico para aceptar una teoría. Decimos que una teoría es correcta y admisible desde el punto de vista científico cuando las operaciones que se realizan en representación mental son isomorfas con los resultados de las observaciones en la parte del mundo real (**Imagen 18**).

Cada operación física llevada a cabo en el mundo real corresponde a una serie de operaciones o cálculos realizados en el modelo mental, y todo debe ocurrir de manera que los resultados obtenidos a ambos lados de la línea de demarcación que separa realidad y modelo coincidan. En ese caso, realidad y representación son isomorfas y se dice que la teoría explica la realidad.

En el caso en que se disponga de dos teorías que expliquen igualmente la realidad, se debe elegir la que sea más sencilla, criterio que se conoce como la navaja de Ockham (**Imagen 19**).

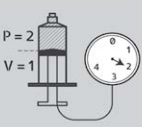
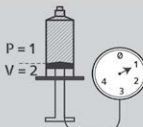
ISOMORFISMO	OPERACIONES MENTALES	$P \cdot V = cte$ $2 \cdot 1 = cte$	$P \cdot V = cte$ $1 \cdot 2 = 2$
	OPERACIONES EXPERIMENTALES	$P = 2$ $V = 1$ 	$P = 1$ $V = 2$ 

Imagen 18. Esquema que representa el isomorfismo entre las operaciones mentales y los resultados experimentales en el caso de la presión de un gas en una jeringuilla.



Imagen 19. Ilustración de Guillermo de Ockham. El CSIC en la Escuela.

No se debe pensar que esta postura, un tanto escéptica, garantiza mejores resultados en la investigación científica. Como ocurre con la postura idealista en el tema del descubrimiento o invención de las leyes, científicos idealistas y materialistas han contribuido igualmente al progreso científico.

La simbiosis entre la ciencia y la tecnología

En la definición del ser humano siempre aparece la capacidad de construir herramientas, vasijas, adornos, etc. que se conservan una vez construidos, transmitiendo a la siguiente generación el conocimiento necesario para elaborarlos. Esta característica de la especie se basa, necesariamente, en el conocimiento de los materiales y sus características, hasta tal punto que es tradicional caracterizar las sociedades por los materiales que emplean. Así, nos referimos al paleolítico, al neolítico, a la edad del bronce o la del hierro. Estos artefactos (como se definen en arqueología) siempre son utilizados para transformar el medio natural en el que nos movemos, en nuestro propio beneficio.

Podemos imaginarnos fácilmente la forma de investigar de los primeros seres humanos, movidos en primer término por la curiosidad, pero desarrollando sus actividades de forma muy bien organizada.

Apenas descubierto el fuego, probarían los distintos materiales de que disponían poniéndolos en contacto con la llama, clasificándolos en combustibles e incombustibles. Estos primeros los dividirían a su vez en los que producían una llama luminosa y los que desprendían gran cantidad de calor, utilizándolos para distintas aplicaciones. Así desarrollaron velas y antorchas, hogares y hornos.

El paso siguiente sería estudiar los cambios que el calor producía en los materiales no combustibles, descubriendo el tratamiento de alimentos, la cocción de vasijas de barro que dio lugar a la cerámica, el trabajo de los metales nativos o la obtención de algunos otros a partir de los minerales (sobre todo óxidos).

No debemos creer que esta forma de investigación (muy lejana del método científico de Bacon) sea propia de los orígenes de la ciencia. Cuando Onnes consiguió una temperatura tan baja como para licuar el helio (del orden de los 270° C bajo cero) hizo lo mismo que nuestros ancestros, someter todos los materiales a su alcance a esas bajas temperaturas, descubriendo así un fenómeno completamente nuevo e inesperado, la superconductividad. E igual ocurrió con el descubrimiento de las radiaciones nucleares, con los mutágenos y con cualquier medio de modificar las cosas. Esta forma de la curiosidad que conduce a la indagación (*inquiry*) apa-

rece en los seres humanos desde que apenas pueden interaccionar con los objetos que tienen cerca, por lo cual el método del descubrimiento siempre tiene éxito en las aulas de ciencia. Pero es importante dejar clara la diferencia entre ciencia e ingeniería, para que los alumnos vean las diferencias entre estas dos importantes actividades humanas.

Gordon L. Glegg describió la actividad de científicos e ingenieros diciendo que los primeros trabajan con cosas que existen en la realidad, descubriendo e inventando leyes y teorías que explican su funcionamiento. Los ingenieros, en cambio, inventan cosas que no existen en el mundo pero que podrían resultar útiles o interesantes, las construyen y las ofrecen a la sociedad. Meditemos sobre estas palabras utilizando nuestras representaciones.

Para ello, nos situamos de nuevo en la figura que muestra nuestra representación del mundo en la zona superior y la parte del mundo representado en la zona inferior. El objetivo de la ciencia es, como hemos dicho, elaborar una construcción mental en la que se encuentren representados los objetos que forman el mundo y las leyes a las que obedecen. Todo, en nuestra representación, corresponde a cosas que existen en el mundo real.

El caso de la ingeniería es, justamente, el contrario. En el espacio mental de las representaciones el ingeniero concibe la idea de, por ejemplo, un telescopio. Utilizando los conocimientos científicos desarrolla la idea y, si es posible, la construye, apareciendo en el mundo una cosa que antes no existía. Los microscopios, las máquinas de vapor, los motores eléctricos, los relojes mecánicos, los edificios, los coches, los aviones, el dinero, los ordenadores, los teléfonos móviles y una interminable lista de inventos que antes no existían y que son debidos a la creatividad de los seres humanos.

Steve Jobs decía que la ingeniería no consiste en preguntar a la sociedad qué nuevo aparato desea, ya que no posee ni la imaginación ni los conocimientos necesarios para contestar. El verdadero innovador es el que proporciona un nuevo aparato o instrumento sin el cual, una vez conocido, no van a poder vivir. Ambas tareas forman la investigación y desarrollo (*Research & Development*), que en la actualidad se han convertido en casi el único parámetro que permite crecer a la economía.

La visión de la enseñanza como una forma de gestión de conocimiento

La gestión del conocimiento (*Knowledge Management, KM*) constituye en la actualidad un campo de investigación y de actividad empresarial. Comenzó hacia 1990 y Davenport³⁰ lo define como el proceso de capturar, distribuir y utilizar eficientemente el conocimiento.

Consideramos muy importante que los maestros de las primeras etapas conozcan el concepto de conocimiento que han desarrollado los científicos de este campo de investigación, el KM.

Este enfoque apareció cuando se planteó el problema de transferir el conocimiento que constituía la riqueza científica y técnica de una empresa a los nuevos empleados. Una parte de ese conocimiento aparecía en los informes, manuales de instrucciones y otros documentos que se encontraban en forma física o digital a disposición del personal de la empresa. Pero, como es evidente, leyendo estos informes los nuevos empleados no conseguían la destreza necesaria para desempeñar bien su cometido. Esto condujo a un análisis de los diferentes tipos de conocimientos que existían, llegando a la conclusión de que había un tipo de conocimiento, el que se encontraba en la cabeza de los empleados, que resultaba difícil de transferir entre personas³¹.

Tras un análisis cuya lectura resulta muy interesante³², se clasificaron los conocimientos en dos tipos: explícitos y tácitos. Los primeros son los que se pueden reflejar fácilmente en forma de libros de texto, manuales e informes, y los segundos son los que, como hemos dicho, se encuentran en la mente de los que los poseen, a veces sin que ellos mismos puedan explicarlos.

En la historia de la humanidad los conocimientos explícitos de todo tipo (entre los que se encuentran los científicos) han pasado de una generación a otra por medio de discursos orales aprendidos de memoria, luego sustituidos por textos trabajosamente copiados a mano, más tarde en forma impresa y muy recientemente en forma digital, ampliándose también la facilidad de acceder a estos conocimientos. Pero de forma paralela se transmitieron también los conocimientos tácitos, solo existentes en los obreros, arquitectos, matemáticos, médicos, ingenieros, etc., que los poseían. Y así ocurrió salvo, probablemente, en alguna época oscura de la Edad Media en la que solo los escritos se conservaron, lo que llevó un importante trabajo de redescubrimiento e interpretación que dio lugar, finalmente, al Renacimiento.

Esta cadena de transmisión de conocimientos implícitos, de persona a persona, no debe ni puede romperse ya que, como es evidente, forma la parte más importante del conocimiento.

Nosotros pensamos que la enseñanza, como empresa de transferir conocimientos de unas generaciones a las siguientes, tiene una vertiente que debe abordarse desde el punto de vista de la gestión del conocimiento. Y como son los docentes los encargados de formar a los alumnos es fundamental que cuenten con la mejor formación posible. Si vemos el *ranking* de universidades nos daremos cuenta que las consideradas mejores son las que cuentan con mejores profesores, entre los cuales se cuentan a veces premios Nobel y autores de prestigio.

Como es evidente, este enfoque del aprendizaje tiene mucho que ver con la forma en que se consigue ser experto³³ en cualquier materia no elemental, y que ya tratamos en otro lugar³⁴.

La alfabetización científica y la inclusión de la NOS en la enseñanza de las primeras etapas

En la segunda mitad del siglo XX comienza a aparecer, de manera reiterada, el término alfabetización científica³⁵ (*Scientific Literacy, SL*) concretamente en 1958, definiéndose como el conjunto de conocimientos que debería poseer un ciudadano para considerarse científicamente alfabetizado. En nuestra opinión, el concepto nunca estuvo bien definido y así lo manifestó Bybee en su trabajo de 1997, en el que se refiere a él como un eslogan útil únicamente para expresar la importancia de la enseñanza de la ciencia³⁶.

Para entender mejor el desarrollo que ha sufrido el término de alfabetización científica, describiremos a grandes rasgos la historia y los cambios que ha ido sufriendo.

Hasta 1957 (fecha del lanzamiento del Sputnik) tiene lugar lo que podríamos llamar la época romántica. Gracias a la influencia de investigadores tan importantes como Thomas Huxley, Charles Lyell, Michael Faraday o John Tindall la enseñanza de la ciencia se introdujo en los programas oficiales de enseñanza³⁷. Los argumentos para ello basculaban en torno a su utilidad (que muchos tildaban de materialista), por un lado, y a las razones más románticas de la belleza que encierra en sí misma, la importancia de su ejercicio para la formación de la juventud y el desarrollo de la independencia de pensamiento y del pensamiento crítico.

En 1893, un informe de la National Education Association (NEA) expresa el papel de la formación científica diciendo que proporciona al alumno la capacidad de realizar por sí mismo un sinfín de tareas que no podría realizar sin esa formación (*to give the pupil the power of doing himself an endless variety of things which, uneducated, he could not do*)³⁸.

Una vez pasada la Primera Guerra Mundial y como resultado de la demanda de las empresas, las asociaciones de profesores comenzaron a dar más peso a la ciencia como base del desarrollo industrial, económico y social. Esta forma de pensar se fue reforzando hasta el punto de que, tras la Segunda Guerra Mundial, incluso cuestiones como la seguridad nacional transformaron el papel idealista de la ciencia que hasta entonces había predominado.

Pero, tras la Segunda Guerra Mundial, pronto apareció la Guerra Fría, término introducido por George Orwell en una de sus conferencias. Esta situación de confrontación ideológica, económica y militar entre los dos grandes bloques, tuvo una enorme influencia en la sociedad, cuyas implicaciones se reflejan en las novelas de Orwell *Rebelión en la Granja* (1945) y *1984* (1949, en la que aparece el concepto de Gran Hermano).

Así, nos acercamos a la fecha de 1957 con un mundo sumido en la Guerra Fría, todavía asombrado por los descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos directamente relacionados con la guerra, con un bloque occidental seguro de su superioridad en todos los terrenos. Entre otras cosas, esta confianza en la superioridad del mundo occidental se reflejaba en la certeza que el sistema de enseñanza en vigor a este lado del telón de acero era el idóneo y no convenía, en ningún modo, modificarlo.

1957, lanzamiento del Sputnik

El 4 de octubre de 1957, ante el asombro de todo el mundo, la Unión Soviética pone en órbita el primer satélite artificial de la historia. Este hecho provocó (sobre todo en los Estados Unidos) un tremendo *shock*, fulminando la sensación de seguridad y superioridad científica y técnica⁴.

Desde la construcción de la bomba atómica (que Estados Unidos poseía en exclusividad desde agosto de 1945 hasta el mismo mes de 1949), era de dominio público que su efectividad estaba condicionada a poder lanzarla por medio de un cohete en vuelo estratosférico, en órbita durante una parte de su trayectoria. Por esa razón el lanzamiento del Sputnik constituyó una seria amenaza que había que neutralizar

(Imagen 20). Para ello, se debían poner en marcha una serie de programas de investigación y desarrollo de un elevadísimo costo (solo la NASA consumió en torno al 3% del PIB hasta 1968).

Pero en un país democrático, como era el caso, la elaboración de los presupuestos del Estado debe contar necesariamente con el apoyo de los ciudadanos, sobre todo, si se requiere un gran esfuerzo durante un periodo continuado de al menos quince años. Y no era, ni mucho menos, evidente que los votantes comprendieran la necesidad de este enorme gasto. Además, muchos colectivos veían la ciencia más como una fuente de peligros que como la solución a los problemas del mundo, para lo cual no les sobraban razones, tras las dos guerras mundiales.



Imagen 20. Ilustración de la puesta en órbita del Sputnik. Modificado de Lopez Sancho (2003).

Así pues, a la vez que se preparaban los programas de investigación y desarrollo (en los que se involucró el equipo de Von Braun, creador de las famosas V-2 alemanas) se propiciaron movimientos de todo tipo (oficiales, de lobbies empresariales, de asociaciones para la enseñanza de la ciencia y de investigadores, todos interesados en un aumento de fondos para la investigación y la enseñanza), que apoyasen los nuevos proyectos. Y, como uno de los principales objetivos de este despliegue de medios sociales era conseguir el apoyo ciudadano a largo plazo para este tipo de programas nacionales, apareció la necesidad de lo que se llamó alfabetización científica, que trataremos a continuación.

Como resultado de la inmediata movilización de los medios de comunicación, en el siguiente año al lanzamiento del Sputnik aparece en la comunidad científica el término de *Scientific Literacy* concepto que era a la vez el nombre de un nuevo campo de actividad académica, un nuevo objetivo para la divulgación en los medios de comunicación, una profesión emergente y, además, una actividad susceptible de aparecer dignamente en los presupuestos.

Además, en una sociedad democrática basada cada vez más en nuevas tecnologías (cultivos de transgénicos, clonación de animales, elección de los tipos de energías que se deben utilizar, etc.) es fundamental que los ciudadanos conozcan sus implicaciones, de manera que puedan pronunciarse sobre los programas políticos que se les ofrezcan.

Como es habitual en cualquier cambio social dirigido desde el Estado, el interés principal se centró en la enseñanza de las primeras etapas (K-12) y, consecuentemente, en la formación de sus profesores y en la investigación en los correspondientes modelos y métodos de enseñanza.

Tras una serie de estudios que ahora se han convertido en clásicos resultó evidente que la confrontación de los dos sistemas políticos iba a acelerar el desarrollo de la sociedad⁴. Consecuentemente era necesario desarrollar un sistema de enseñanza que preparase a las nuevas generaciones de científicos, matemáticos, ingenieros y obreros especializados para una vida profesional en continuo cambio (en lo que conocimientos, materiales y procesos se refiere), a la vez que debía transformarse la sociedad de manera que los ciudadanos entendieran que la historia se iba a convertir en una empresa científica.

La etapa siguiente la podemos considerar como el periodo de los conocimientos de referencia, una larga etapa en la que la idea de *SL* se materializó en largas listas de conocimientos de referencia que era necesario poseer para considerarse alfabetizado, diferentes para cada disciplina, y cuyo fracaso es ahora evidente (los famosos *benchmarks*)³⁹.

En 1993, como relata Alice Bell, Durant⁴⁰ apuntó la posibilidad de que la expresión *SL* era demasiado confusa para ser de utilidad, tanto en enseñanza como en su aplicación a los ciudadanos y redefinió el concepto desdoblándolo en tres niveles:

- 1. Tener conocimientos de ciencia**, que corresponde a tener conocimientos de biología de un *A-level* (correspondiente, más o menos, al bachillerato español) o, simplemente, conocer las leyes de la termodinámica, lo que es tensión superficial o que la Tierra gira en torno al Sol. Este nivel de alfabetización científica está poco definido y es imposible de cuantificar.
- 2. Conocer cómo funciona la ciencia** (*knowing how science works*), que corresponde a tener, además, algún conocimiento del llamado método científico de Bacon, los trabajos de Popper o Lakatos.
- 3. Conocer cómo la ciencia funciona en realidad** (*knowing how science really works*). Este nivel corresponde a lo que ahora se llama Naturaleza de la Ciencia (NOS, en sus siglas inglesas) y que será motivo del próximo apartado.

Así, al acercarse el siglo XX se hizo evidente el fracaso de las políticas de alfabetización científica, tanto en la enseñanza como en los medios de comunicación⁴¹. Se necesitaba un cambio de estrategia asociado a una nueva definición de *SL*. Y para

todo ello era necesario investigar, sobre todo, en la naturaleza del conocimiento en general y del conocimiento científico en particular, y en la forma en que se implementa en la mente de las personas para así poder organizarlo, almacenarlo y transmitirlo de la manera más eficiente.

Esta nueva forma de enfocar la enseñanza requeriría un mayor esfuerzo de los ciudadanos, que debían someterse a un proceso de formación continua. Esta tarea necesitaba, a su vez, de una actitud de entrega al trabajo que iba a ser acogida de manera muy desigual en las diferentes comunidades sociales e incluso en distintos países (con diversas raíces históricas), tradicionalmente preparados de formas muy diferentes frente a la cultura del esfuerzo. De nuevo aparece la relación entre cultura social y capacidad de adecuarse a los tiempos, que ha marcado el desarrollo de las naciones desde la primera revolución científica.

La inclusión del estudio de la Naturaleza de la Ciencia en el concepto de alfabetización científica

Como hemos dicho, uno de los cambios que ha traído este siglo en enseñanza, es la necesidad de concretar lo que se entiende por alfabetización científica. El cambio de estrategia puede verse a partir de los *benchmarks*⁴² que definían los requerimientos de la alfabetización científica y los reflejados en *National Science Education*, que dejaban claro la indefinición del término. Si se añade a esto la publicación de estándares por la mayoría de países desarrollados nos podemos hacer idea del estado de confusión reinante a finales del siglo pasado, tras cincuenta años de uso del término *Scientific Literacy*.

En la última década y a partir de las investigaciones en enseñanza de la ciencia, comenzaron a aparecer en las publicaciones de organismos nacionales las primeras alusiones a la Naturaleza de la Ciencia. Así el *National Research Council* publicó en 1996 las nuevas *National Science Education Standards*, en las que se incluían la Historia y la Naturaleza de la Ciencia como uno de los ocho puntos que debían incluirse en la enseñanza en el periodo K-12⁴³.

Esta tendencia fue creciendo, de tal manera que en la última década la enseñanza de la NOS aparece en todos los documentos que tratan de la enseñanza de la ciencia a cualquier edad⁴⁴.

Es fundamental aclarar, en primer lugar, que debemos distinguir entre los *contenidos científicos y la Naturaleza de la Ciencia*, como dos conceptos diferentes. Los contenidos científicos son los que aparecen en las materias que se estudian normalmente en forma de asignaturas tradicionales: mecánica, termodinámica, paleontología, arqueología, geografía, química orgánica, etc. El conjunto de estos contenidos científicos constituyen, en la forma en la que se encuentran en los textos, el conocimiento científico en forma explícita. Por su parte, la Naturaleza de la Ciencia constituye un conocimiento de nivel superior; estudia la forma en la que se construye la ciencia, cómo se generan los conocimientos científicos, cómo van sustituyéndose unos por otros y la forma en la que se estructuran en datos, modelos, leyes y teorías. Podríamos decir que entre los contenidos científicos y la Naturaleza de la Ciencia existe una relación semejante a la que aparece entre el conocimiento de un idioma y la Lingüística, que trata a las diferentes lenguas, sus estructuras gramaticales, las relaciones entre ellas y las transformaciones que sufren como objeto de su estudio.

La manera más general de definir la ciencia es como una manera de entender el mundo. Esta definición comprende, en realidad, tres niveles bien diferenciados, que corresponden a los propuestos por Durant en el trabajo citado⁴⁰.

- 1.** El que se refiere al conjunto de conocimientos acumulados a través de la historia (comúnmente conocidos como *contenidos*).
- 2.** El que describe la forma en la que trabajan los científicos (hasta hace poco erróneamente llamado *método científico*).
- 3.** El que estudia la estructura y características que toman esos contenidos y que hemos descrito al tratar de las representaciones del conocimiento. El conjunto de los tres niveles es lo que, en la actualidad, se define como la Naturaleza de la Ciencia.

Aunque la definición de la NOS hereda de la SL el defecto de estar definida de forma poco precisa; en este caso es debido a que constituye un campo de investigación de gran actividad y en constante revisión, en el que toman parte igualmente los científicos y los profesores (principalmente los de las primeras etapas).

Uno de los puntos más importantes de la NOS es el abandono de la idea del método científico. Se debe dejar bien claro a los alumnos que no existe ninguna receta que garantice la infalibilidad del conocimiento. Cualquier procedimiento que lleve a

la enunciación de leyes e idear teorías cuyas predicciones coincidan con las observaciones y permitan predecir resultados experimentales, debe considerarse válida en el proceso de hacer ciencia^{45, 46, 47}.

Está claro que para entender la NOS debemos poseer algunos conocimientos de contenidos científicos, de manera que podamos saber de lo que estamos hablando, pero estos conocimientos deben ser determinados por el profesor de acuerdo con la edad de sus alumnos y la situación cultural de los mismos. Además, debemos enseñar a los niños la forma en que los científicos construyen la ciencia (observando, recogiendo información, descubriendo leyes e inventando teorías), para lo cual sus maestros tienen que preparar actividades que les conduzcan por el camino del descubrimiento, lo que depende también de las condiciones particulares de cada aula. Finalmente, dependiendo de los dos pasos anteriores, los alumnos han de darse cuenta de cómo están estructurados los conocimientos científicos, distinguiendo representaciones, leyes, modelos y teorías. También deben comprender, de acuerdo con su edad, que estas estructuras son una especie de herramienta mental que debe mejorarse cuando se puede, e, incluso, puede darse el caso de disponer simultáneamente de dos, pudiendo elegir en cada caso la más conveniente (como vimos en el caso de la luz: corpúsculo/onda).

La inclusión de la Naturaleza de la Ciencia en la formación científica se está demostrando muy útil como herramienta vigostkyana en el aprendizaje de contenidos científicos^{48, 49, 50}.

Una de las dificultades con la que ha chocado la introducción de la NOS en las primeras etapas educativas es, como es habitual, la resistencia de sus profesores, que dudan de la que los niños tengan la capacidad necesaria para entender el nivel de abstracción que se requiere⁵¹. Pero cuando se pueden elaborar conceptos como el la propiedad privada, la autoridad, lo que es justo y lo que es injusto, el cariño, la envidia o el odio, aprender ciencia es una tarea sencilla, como lo demuestran los resultados de las investigaciones más recientes, perfectamente contrastadas^{52, 53, 54, 55}.

Estas investigaciones indican que incluso desde el nivel preescolar, los niños son capaces de entender las características generales de la construcción de conocimientos del medio en el que viven⁵⁶, la diferencia entre magia y ciencia, etc. La capacidad de aprender y comprender que presentan los niños desde edades muy tempranas continúa asombrando a maestros y psicólogos. Cada vez estamos más convencidos de la reflexión que hizo Einstein refiriéndose a la famosa frase de

Huxley, a propósito de la teoría de la evolución: no importa lo difícil que sea un concepto o lo complicado que resulte una teoría, si se explica bien, cualquier persona puede entenderlo e incluso llegar a pensar, ¡cómo no se me habrá ocurrido a mí!

Después de un periodo de formación apropiado en este campo, llegan a la conclusión de que prácticamente la mitad de los profesores de K-4 creen que sus alumnos están preparados para entender las bases fundamentales de la NOS, exceptuando las relaciones entre ciencia y tecnología y las distinciones entre leyes y teorías. Además, el 90 % de estos profesores de K-4 defienden que los alumnos de estos niveles pueden entender los conceptos de inferencia, conocimiento empírico o naturaleza creativa de la ciencia.

Pero para llegar a estas metas es fundamental contar con profesores bien formados. Por ello, es fundamental ayudar a los maestros a adquirir los conocimientos apropiados para despertar y aprovechar las capacidades de los alumnos en estas primeras etapas.

Glosario de palabras y acrónimos

NOS: del inglés Nature of Science. Naturaleza de la Ciencia.

vNOS: del inglés View of Nature of Science. Visión de la Naturaleza de la Ciencia.

Benchmark: referencia.

SL: del inglés Scientific literacy. Alfabetización Científica.

ADN: ácido desoxirribonucleico.

BIT: del inglés Binary Digit.

K-12, K-2, etc.: nomenclatura utilizada en los países anglosajones para determinar el grado de escolarización. K alude a *Kindergarten* (Educación Infantil) y el número que acompaña indica los años que hay que sumar al final del ciclo infantil. Por ejemplo, K-12 se refiere a jóvenes de 17 o 18 años [5 o 6 años de Educación Infantil más 12] que estarían, en España, en la Educación Secundaria. Otro ejemplo K-2, alude a alumnos de Educación Primaria de unos 8 años.

Referencias bibliográficas

1. DESCARTES, R. *Discurso del método*. FGS. Madrid. 2010. [En línea]: <<http://www.posgrado.unam.mx/musica/lecturas/LecturalIntroduccionInvestigacionMusical/epistemologia/Descartes-Discurso-Del-Metodo.pdf>> [consulta: agosto 2016].
2. PIAGET, J. *La Epistemología Genética*. Debate. Madrid. 1986.
3. KUHN, T. S. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de cultura Económica. México, 2004.
4. LÓPEZ SANCHO, J. M.º *La Naturaleza del conocimiento. Clave para entender el proceso de aprendizaje*. CCS. Madrid. 2003. [En línea]: <<http://digital.csic.es/handle/10261/85818>>.
5. DESCARTES, R. *Meditaciones Metafísicas con objeciones y respuestas*. Gredos. Madrid. 1997.
6. SAUSSURE, F. *Curso de Lingüística General*. Akal. Madrid. 1991.
7. WITTGENSTEIN, L. *Tractatus Logico-Philosophicus*. Alianza. Madrid. 2004.
8. SHANNON, C. E. *A Mathematical Theory of Communication*. The Bell System Technical Journal. Vol 27. 1948.
9. KAY, P. & KEMPTON, W. *What Is the Sapir-Whorf Hypothesis?* American Anthropologist, 86: 65–79. 1984.
10. CHOMSKY, N. *Estructuras Sintácticas*. Siglo XXI. México. 2004.
11. DOVER, G. *Querido señor Darwin: cartas sobre la evolución de la vida y de la naturaleza humana*. Siglo XXI. México. 2003.
12. TURING, A. M. *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*. Proc. London Maths. Soc. (Series 2), 42: 230–265. 1936. [En línea]: <<http://www.abelard.org/turpap2/tp2-ie.asp>>.
13. GARDNER, H. *La nueva ciencia de la mente: historia de la revolución cognitiva*. Paidós. 2004.
14. MILLER, G. A. *The cognitive revolution: a historical perspective*. Trends in Cognitive Sciences Vol. 7. No. 3. Elsevier Science. 2003.
15. NEWMAN, M. E. *Modularity and community structure in networks*. Proceedings of the national academy of sciences, 103(23), 8577-8582. 2006.
16. *John McCarthy (computer scientist)*. Wikipedia. [En línea]: <[https://en.wikipedia.org/wiki/John_McCarthy_\(computer_scientist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_McCarthy_(computer_scientist))> [consulta: agosto 2016].
17. *Conditional (computer programming)*. Wikipedia. [En línea]: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Conditional_\(computer_programming\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Conditional_(computer_programming))> [consulta: agosto 2016].
18. BOOLE, G. *Una investigación sobre las leyes del pensamiento*. Thomson Paraninfo. 1982.
19. VON NEUMANN, J. *The computer and the brain*. Yale University Press. 1958.
20. PLATÓN. MENÓN. PLATÓN, Obras Completas. Patricio Azcárate. Madrid. 1871. [En línea]: <<http://www.filosofia.org/cla/pla/img/azf04275.pdf>> [consulta: agosto 2016].
21. SCALTSAS, T. *Substances and Universals in Aristotle's Metaphysics*. Cornell University Press. 2010.
22. GÓMEZ DÍAZ, M.º J. y López Sancho, J. M.º *El pensamiento divergente en el esquema de construcción de conocimiento de Piaget*. Serie El CSIC en la Escuela N° 9. 59-76. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 2013. [En línea]: <<http://digital.csic.es/handle/10261/76185>>.
23. LÓPEZ SANCHO, J. M.º *Platón, Piaget, Kuhn y el conocimiento científico*. Conferencia en la Residencia de Estudiantes del CSIC. 2015. [En línea]: <<http://digital.csic.es/handle/10261/109764>>.

24. *The Differences Between Data, Information and Knowledge*. Infogineering.net. [En línea]: <<http://www.infogineering.net/data-information-knowledge.htm>> [consulta: agosto 2016].
25. VYGOTSKY, L. *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica. Barcelona. 1979.
26. NOVAK, J. D. *Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Journal of e-Learning and Knowledge Society. 6, 3, 21-30. 2010.
27. AUSUBEL, D. *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. Grune & Stratton. New York. 1963.
28. LÓPEZ SANCHO, J. M.^a; GÓMEZ DÍAZ, M.^a J.; LÓPEZ ÁLVAREZ, J. M.^a; REFOLIO REFOLIO, M.^a C.; CORTADA CORTÉS, M.; MARTÍNEZ GONZÁLEZ, R.; GARCÍA GARCÍA, I. *Descubriendo las moléculas: un proyecto para el aula*. Material didáctico para profesores de Educación Infantil y Primaria. Comunidad de Madrid. 2006. [En línea]: <<http://digital.csic.es/handle/10261/85765>>.
29. MORENO GÓMEZ, E.; LÓPEZ SANCHO, J. M.^a; REFOLIO REFOLIO, M.^a C. *La estructura de las revoluciones científicas y el caso especial de la óptica*. Serie El CSIC en la Escuela, n.º 9. 37-58. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 2013. [En línea]: <<http://digital.csic.es/handle/10261/76180>>.
30. DAVENPORT, T. H. *Saving Its Soul: Human Centered Information Management*. Harvard Business Review. 72. (2). 1994.
31. DUHON, B. *It's All in our Heads*. Inform. September, 12 (8). 1998.
32. NONAKA, I. & TAKEUCHI, H. *The knowledge creating company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press. New York. 1995.
33. DREYFUS, S. E. *The Five-Stage Model of Adult Skill Acquisition*. Bulletin of Science Technology & Society. 24: 177. 2004. [DOI: 10.1177/0270467604264992]
34. GÓMEZ DÍAZ, M.^a J.; LÓPEZ SANCHO, J. M.^a; MORENO GÓMEZ, E. *Aprendizaje de la ciencia, metamodelos y metacognición*. Serie El CSIC en la Escuela, n.º 13, 7-30. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 2015. [En línea]: <<http://digital.csic.es/handle/10261/112447>>.
35. HURD, P. *Science literacy: Its meaning for American schools*. Educational Leadership, 16, 13-16, 52. 1958.
36. BYBEE, R. *Toward an understanding of scientific literacy*. In W. Graber & C. Bolte (eds.). *Scientific literacy* pp. 37-68. Institute for Science Education. Kiel. 1997.
37. DEBOER, G. E. *A history of ideas in science education: Implications for practice*. Teachers College Press. New York. 1991.
38. *Report of the committee on secondary school studies*. National Education Association Washington, D.C. U.S. Government Printing Office. 1893. [En línea]: <<https://archive.org/details/reportofcomtens-00natirich>> [consulta: agosto 2016].
39. BELL, A. *The myth of Scientific Literacy*. [En línea]: <<http://doctoralicebell.blogspot.com.es/2010/08/myth-of-scientific-literacy.html>> [consulta: agosto 2016].
40. DURANT, J. *What is scientific literacy?* In Jon Durant and Jane Gregory (eds.). *Science and Culture in Europe*. Science Museum: London. 1993.
41. BAUER, M.; NICK A; STEVE M. *What can we learn from 25 years of PUS survey research? Liberating and expanding the agenda*. Public Understanding of Science, vol. 16(1): 76-95. 2007. [hal-00571116]
42. American Association for the Advancement of Science. *Benchmarks for scientific literacy*. Oxford University Press. Oxford, UK. 1993.

43. National Research Council. *National science education standards*. National Academy Press. Washington, D.C. 1996.
44. NGSS Lead States. *Next Generation Science Standards*. The National Academies Press. 2013. [En línea]: <<https://www.nap.edu/read/18290/chapter/1>>.
45. FEYERABEND, P. *Tratado contra el método*. Esquema de una teoría anarquista del conocimiento. Tecnos. 1986.
46. BAUER, H. H. *Scientific literacy and the myth of the scientific method*. University of Illinois Press. Champaign, IL. 1994.
47. SHAPIN, S. *The scientific revolution*. University of Chicago Press. Chicago. 1996.
48. DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLER; SCOTT, P. *Young people's images of science*. Open University Press. Bristol, PA. 1996.
49. MCCOMAS, W. F. *The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths of science*. In W. F. McComas (ed.), *Nature of science in science education: Rationales and strategies* pp. 53-70. Kluwer (Springer) Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. 1998.
50. MCCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P.; ALMAZROA, H. *The role and character of the nature of science in science education*. In W. F. McComas (ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* pp. 3-39. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands. 1998.
51. METZ, K. *Reassessment of developmental constraints on children's science instruction*. *Review of Educational Research*, 65, 93-127. 1995.
52. AKERSON, V. L.; BUCK, G. A.; DONNELLY, L. A.; NARGUND-JOSHI, V.; WEILAND, I. S. *The importance of teaching and learning nature of science in the early childhood years*. *The Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 537-549. 2011.
53. AKERSON, V. & DONNELLY, L. A. *Teaching nature of science to K-2 students: What understandings can they attain?* *International Journal of Science Education*, 32(1), 97-124. 2010.
54. AKERSON, V. L.; HANSON, D. L.; CULLEN, T. A. *The influence of guided inquiry and explicit instruction on K-6 teachers' views of nature of science*. *Journal of Science Teacher Education*, 18(5), 751-772. 2007.
55. LEDERMAN, J. S. & LEDERMAN, N. G. *Early elementary students' and teachers understandings of nature of science and scientific inquiry: Lessons learned from Project ICAN*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Vancouver, British Columbia. 2004.
56. SWEENEY, S. J. *Factors affecting early elementary (K-4) teachers' introduction of the nature of science: A national survey*. (Unpublished PhD). University of Arkansas, Fayetteville, AR. 2010.

Lecturas recomendadas

- ABELL, S. *The pedagogical implications of Parallels between Kuhn's Philosophy of Science and Piaget's Model of Cognitive Development*. In Buffalo State. 2012. BACON, F. *Novum Organum*. Buenos Aires: Losada. 2004.
- CONCARI, S. B. *Las Teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias*. *Ciência & Educação*. Vol. 7. n.º 1. 85-94. 2001.
- DEBOER, G. E. *Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to Science Education Reform*. *Journal of Research in Science teaching*. Vol 37. n.º 6: 582-601. 2000.

GLEGG, G. L. *The design of design*. London, Cambridge U.P. 1969.

HOLBROOK, J. & RANNIKMAE, M. *The Meaning of Scientific Literacy. Special Issue on Scientific Literacy. International Journal of Environmental & Science Education*. Vol. 4. N.º 3. 275-288. 2009.

JARAMILLO ECHEVERRI, L.G. y AGUIRRE GARCÍA, J.C. *La controversia Kuhn-Popper en torno al Progreso Científico y sus posibles aportes a la enseñanza de las ciencias*. Cinta de Moebio. 20. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile. 2004.

KARAMAN, A. *Professional Development of Elementary and Science Teachers in a Summer Science Camp: Changing Nature of Science Conceptions*. Australian Journal of Teacher Education. 41 (3). 2016.

LÓPEZ SANCHO, J. M.²; GÓMEZ DÍAZ, M.³ J.; RUÍZ DEL ÁRBOL MORO, M.⁴; CEJUDO RODRÍGUEZ, S.; REFOLIO REFOLIO, M.⁵ C.; MORENO GÓMEZ, E. *La enseñanza de la ciencia en Infantil y Primaria: una introducción*. 2016. [En línea]: <<https://digital.csic.es/handle/10261/138495>>.

MATUSOV, E. & HAYES R. *Sociocultural critique of Piaget and Vygotsky*. New Ideas in Psychology. 18. 215-129. 2000.

Problema de la demarcación. Wikipedia. [En línea]: <https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_la_demarcaci%C3%B3n>.

RAMÍREZ CÉSPEDES, Z. *Las ontologías como herramienta de gestión del conocimiento*. Departamento de Bibliotecología y Ciencia de la Información. Universidad de la Habana. Cuba.

Views of nature of Science (from C). [En línea]: <[https://science.iit.edu/sites/science/files/elements/mse/pdfs/VNOS\(C\).pdf](https://science.iit.edu/sites/science/files/elements/mse/pdfs/VNOS(C).pdf)>.

Referencias de imágenes

IMAGEN 2: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mind%E2%80%93body_problem#/media/File:Descartes_mind_and_body.gif]

IMAGEN 3: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Ferdinand_de_Saussure#/media/File:Ferdinand_de_Saussure_by_Jullien.png]

IMAGEN 9: [<https://www.flickr.com/photos/73527420@N00/801342233/>]

IMAGEN 16: [[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Robert_Boyle#/media/File:Portrait_of_The_Honourable_Robert_Boyle_\(1627_-_1691\)_Wellcome_M0000284.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Robert_Boyle#/media/File:Portrait_of_The_Honourable_Robert_Boyle_(1627_-_1691)_Wellcome_M0000284.jpg)]