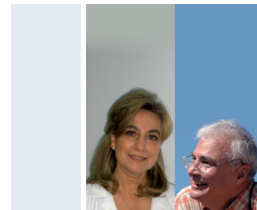


# El pensamiento divergente en el esquema de construcción de conocimiento de Piaget



**M.ª J. Gómez Díaz\* y José M.ª López Sancho**

*Coordinadora de El CSIC en la Escuela*

*Director de El CSIC en la Escuela*

---

## Palabras clave

Conocimiento, constructivismo, creatividad, lógica, ciencia, modelo.

---

## Resumen

En este trabajo se presenta de una manera muy resumida el papel del pensamiento divergente en el proceso de creación de modelos, aplicándolo al caso de cambio de modelos científicos. Para ello se introducen previamente los conceptos necesarios para la exposición, se presenta con un cierto detalle, el proceso de acomodación de nuevos datos a la representación mental del mundo que va formando el alumno infantil y se identifica la parte creativa necesaria para que se produzca la solución de continuidad en el pensamiento.

---

## Introducción

De acuerdo con Chomsky<sup>[1]</sup> los seres humanos nacemos con algún tipo de software programado o, al menos, con la capacidad de que ese software se vaya autoprogramando al ir creciendo. Esta característica no es exclusiva del ser humano, ya que todos los animales nacen con los conocimientos suficientes para poder vivir; las aves, incluso cuando nazcan en una incubadora y no estén en contacto con otras aves, cuando llega el momento saben volar. Aunque Chomsky se refiere a la capacidad de formar una lengua, nosotros generalizamos su hipótesis y decimos que también nacemos con una segunda herramienta mental (del tipo de las herramientas vygotskianas<sup>[2]</sup>) que no es otra que *la lógica*, a la que añadimos la de *creatividad*, menos estudiada y mucho menos predecible.

Podríamos decir que todos los animales nacen con una estructura lógica programada en el cerebro (o en la parte que juegue ese papel), pero en el caso de los seres humanos esa herramienta es mucho más poderosa y está programada para construir conocimiento.

---

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

El ejemplo más sencillo del uso de la lógica es el que refiere Piaget cuando describe las reacciones circulares<sup>[3]</sup> (que nosotros preferimos llamar razonamientos circulares), que vamos a exponer aquí en un caso muy simple. Supongamos que situamos una campanilla o cascabel cerca de un niño de meses. Si lo empuja en un movimiento sin objetivo, al azar, la campanilla sonará. Inmediatamente repetirá el movimiento de forma voluntaria hasta pasar a un estado en el que es consciente del comportamiento de la campanilla. Al cabo de unos cuantos sucesos de este tipo el niño asociará el sonido al movimiento de la campanilla.

Esta asociación la podemos escribir en forma de condición *si... entonces* (*if... then*).

- **Si se mueve** la campanilla, **entonces** suena.

Este conocimiento se puede entender como un *esquema* (en el sentido piagetiano) de una parte del mundo que él conoce, la campanilla; y la frase que hemos escrito se puede considerar como una ley de la naturaleza, ya que describe el comportamiento de una parte de ella, la campanilla.

Si meditamos sobre el proceso seguido desde la primera observación casual hasta la enunciación de la ley nos daremos cuenta de que se trata de un proceso de generalización, ya que la ley se ha establecido a partir de un pequeño número de experimentos (procesos realizados voluntariamente). Este proceso de inducción incompleta no es admisible en matemáticas pero, en cambio, es una de las piezas fundamentales del método científico, tal como lo enunció Francis Bacon<sup>[4]</sup> en el siglo XVII. Es un proceso que implica un ingrediente nuevo: la creatividad.

Así, mediante la observación y la experimentación elemental, utilizando procesos creativos (no deducidos de la experiencia), el niño ha llegado a conocer una simplísima ley:

- **Si se mueve** la campanilla, **entonces** suena.
- **Si no se mueve** la campanilla, **entonces no** suena.

El paso siguiente consiste en decidir qué hacer si queremos que la campanilla suene. Esto equivale a deducir situaciones que llevan a que la campana suene, aplicando el conocimiento que ha obtenido sobre el comportamiento de la campanilla. Es lo que llamamos una competencia.

- **Si se mueve** la campanilla, **entonces** suena.
- **Si yo** quiero que suene la campanilla **entonces** la muevo.

El tercer paso es preguntarse qué ocurrirá si se mueven o golpean otros objetos. Unos sonarán (como otras campanillas similares, las campanas, los sonajeros, etc.) y otros responderán de formas diferentes, pero todas dignas de estudio y susceptibles de ser reducidas al modelo de construcción de conocimiento propuesto por Piaget.

Como resultado de las manipulaciones descritas y de su procesamiento el niño identifica primero un objeto, la campanilla, y luego una serie de objetos que se comportan igual. Como veremos más adelante a todos ellos los unifica y se refiere a ellos con un único nombre o sonido, en general onomatopéyico, y a todos los asignará un mismo comportamiento básico.

La utilidad de tener capacidad para llevar a cabo este tipo de razonamiento es evidente: el ser humano puede almacenar en su mente una especie de réplica imaginada de la realidad que lo rodea pudiendo así, mediante operaciones mentales, predecir lo que ocurrirá en el mundo real ante determinadas manipulaciones o diseñar sus propias acciones para producir determinadas respuestas en el mundo real. Todo esto es lo que describe Piaget en su modelo de esquema mental de los niños.

A continuación describiremos ese esquema, exponiendo previamente los conceptos que intervienen.

## **La forma en la que los seres humanos almacenan el conocimiento**

Cuando se considera la forma en la que los seres humanos se plantean la resolución de problemas, encontramos dos tipos genéricos:

- La aplicación de recetas a las que se ha llegado por un procedimiento de ensayo y error, como la que utilizaban en la edad de los metales para la metalurgia del bronce o del hierro, o la fórmula de la pólvora negra traída de China, que se reproducía religiosamente o se modificaba para mejorarla por el procedimiento de prueba y error.
- La que se deduce a partir del conocimiento científico, basado en un modelo en el que se asigna una composición o fórmula a cada sustancia, deduciéndose de estas fórmula las transformaciones necesarias para obtener las características deseadas. En el caso de la pólvora, sabemos que uno de los componentes es el carbón, que produce CO<sub>2</sub> al quemarse, y otro es el nitrato potásico, que propor-

ciona el oxígeno necesario para la combustión. A partir de este conocimiento sabemos que se puede sustituir el nitrato por clorato potásico, por ejemplo, que realiza la misma función.

Es evidente que el conocimiento deseable es el que proviene de un modelo, por lo cual nuestro siguiente objetivo es el de estudiar cómo son estos modelos y cómo se construyen. Afortunadamente para ello contamos con el resultado de las investigaciones de Piaget, del que recordaremos los conceptos que introdujo, necesarios para entender su trabajo.

## Conceptualizar es formar un concepto

Antes de introducir el modelo de Piaget de construcción de conocimiento debemos adquirir algunos conceptos imprescindibles. El primero de ellos es adquirir la idea de *concepto*.

El mundo se nos presenta con una cantidad de objetos cuyas características son imposibles de aprehender y almacenar en la mente. Por ello la evolución nos ha dotado de la capacidad de conceptualizar, capacidad sorprendente, fácilmente observable en los niños y que es imprescindible para la aparición del habla.

Básicamente el proceso de elaborar un concepto consiste en formar un conjunto (o clase) que contenga un número infinito de elementos y asignarle un nombre<sup>[5]</sup>. Este proceso es el de clasificación de la realidad y cada una de las clases o conjuntos corresponde a un concepto. Los niños, por ejemplo, adquieren inmediatamente el concepto de *perro* a partir de la observación de unos pocos animales de esta especie y no dudan en identificar cualquier animal desconocido (real o imaginado, como los perros de los comics) como perteneciente (o no perteneciente) a ese conjunto. Si se asigna a ese conjunto un nombre común, en este caso el de *perro*, nos podremos referir a él al comunicarnos con otras personas. Y en ese conjunto iremos introduciendo animales concretos o imaginados, conocidos o desconocidos, sin límite de número; por eso decíamos que el concepto contiene un número infinito de elementos a los que podemos referirnos con una sola palabra (o gesto en los lenguajes de sordomudos).

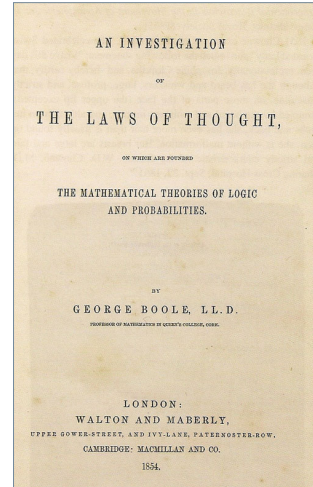
Los niños van conceptualizando o clasificando el mundo desde que nacen hasta que dominan el idioma con una rapidez asombrosa, adquiriendo conceptos a veces imposibles de definir para un adulto. Ideas tan difíciles como la propiedad, la justi-

cia o el cariño son manejadas con facilidad desde edades muy tempranas sin que, sorprendentemente, nos cause asombro a los mayores que realicen un proceso tan complicado.

Borges<sup>[6]</sup>, en cambio, se dio cuenta de la potencia del proceso de conceptualización y la puso de manifiesto en su relato Funes el memorioso.

Pero la formación de conceptos no solo es importante para la comunicación utilizando un lenguaje. Su importancia reside de su papel en la facultad humana de pensar, ya que los elementos que intervienen en el pensamiento lógico son justamente esos conjuntos en los que hemos dividido el mundo.

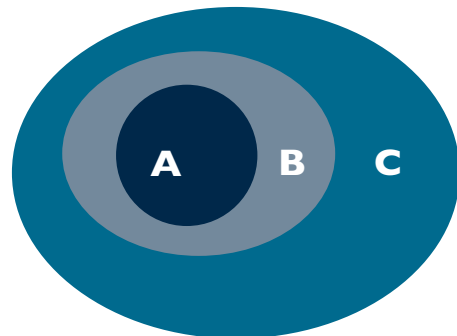
A esa conclusión llegó Boole<sup>[7]</sup>, en 1854, representando las leyes del pensamiento humano por relaciones algebraicas (**Imagen 1**).



**Imagen 1.** Portada de «Las leyes del pensamiento» de G. Boole.

El enunciado de estas leyes y las operaciones que conllevan se simplifican enormemente si se emplea el método gráfico inventado por Venn y publicado en 1881 en su libro *Lógica Simbólica*, método que consiste en representar un concepto por medio de un círculo en el que se supone que se encuentran todos los elementos del conjunto.

La primera comprobación que puede hacerse de la potencia del método consiste en representar los silogismos de la lógica aristotélica utilizando los diagramas de Venn; además de divertido es interesante comprobar la relación entre los procesos del pensamiento humano y las relaciones de unión e intersección entre conjuntos (que representen conceptos). En la figura siguiente (**Imagen 2**) se representan el primer tipo de silogismo, bárbara, por medio de diagramas de Venn<sup>[8]</sup>.



**Imagen 2.** Ejemplo de diagramas de Venn.

El siguiente concepto que vamos a utilizar es el de *esquema*, en el sentido que lo emplea Piaget. Para él un esquema es una representación mental del mundo que ha elaborado un ser humano. Esta representación va evolucionando y enriquecién-

dose con la edad y el estudio de este proceso es lo que constituye el desarrollo cognitivo de las personas.

El *esquema* de Piaget tiene que ser, necesariamente, una representación muy simplificada del mundo, ya que la información que podemos manejar en nuestra mente es, lógicamente, limitada. La primera simplificación del mundo que hemos estudiado es la que se realiza al representar por medio de un concepto los infinitos elementos que lo forman, de manera que los elementos constitutivos del *esquema* son los conceptos.

Lógicamente el número de conceptos va aumentando con la edad, la observación y el estudio (**Imagen 3**).



**Imagen 3.** Representación simplificada del mundo real.

## La influencia de los conceptos que poseemos y la forma en la que entendemos el mundo

El proceso de elaboración de conceptos, aunque es una capacidad con la que nacemos (así lo establece Piaget en su psicología genética) está sometido a las influencias del entorno del niño y, además, tiene una influencia determinante en la forma en la que se entiende, clasifica y memoriza el mundo. Para exponer esta característica vamos a utilizar la llamada hipótesis fuerte de Sapir-Worf quien, hacia 1940, la define perfectamente.

De acuerdo con estos dos lingüistas, los conceptos que el niño domina, que se reflejan en el vocabulario que utiliza, son los elementos que traducen la realidad exterior, actuando como un filtro que sólo deja pasar los elementos que seamos capaces de entender con ayuda de los conceptos que hemos adquirido. Si, además, estos conceptos van unidos a juicios de valor podemos decir, como Worf, que el lenguaje que se maneja (conceptos que se poseen) determina el pensamiento de las personas, hipótesis que se conoce con el nombre de *determinismo lingüístico*.

Esta teoría nació como resultado de los trabajos de investigación de lingüistas y antropólogos americanos sobre las culturas autóctonas. Cuando intentaban traducir al inglés las leyendas, historias y conocimientos que estaban expresados en sus lenguas vernáculas, observaron que no había correspondencia directa entre las categorías y conceptos de ambas lenguas. El ejemplo mejor conocido, aunque apócrifo

fo, es el de las diez formas distintas de nieve que distinguen algunos esquimales, que ellos describen con otras tantas palabras, de imposible traducción a ninguna de las lenguas occidentales. Para Whorf esto implica que cuando una persona de habla inglesa contempla un paisaje nevado, no es capaz de *ver* más que los dos tipos de nieve que conoce, obteniendo una descripción de ese paisaje mucho más pobre y menos exacto que el obtenido por los esquimales.

Así, la elaboración del concepto de densidad por Arquímedes, permitió *entender* los fenómenos de flotación, cosa imposible si no se maneja este concepto. Por esa razón en la enseñanza siempre se prioriza la asignatura de lengua como una de las materias instrumentales más importantes.

El ejemplo más simple de esquema es el que hemos elaborado de nuestra ciudad, por ejemplo, que corresponde más o menos a un mapa mental. Allí están representados las calles con sus nombres, algunos edificios que conocemos y las características que hemos observado y que consideramos importantes, pero si oímos hablar de una parte de nuestra ciudad que no conocemos no seremos capaces de entender lo que dicen.

## Segundo paso en la construcción del esquema: Relacionar las clases y asignarlas propiedades

A la vez que el niño va añadiendo conceptos a su representación del mundo, va asignando propiedades y características a estas clases. Así, la clase de los perros va asociada a la capacidad de ladrar y a la imposibilidad de hablar, la de los padres a *ser mayores*, la de los muñecos a no moverse o hacerlo mecánicamente, etc. Enseguida llegan a la conclusión, por ejemplo, de que las cosas nunca desaparecen y que se puede jugar a esconder un juguete para que ellos lo encuentren. Esta propiedad de la permanencia de los objetos es tan señalada que cuando se les pregunta a los niños, por ejemplo, qué ha ocurrido con el agua que mojaba la ropa antes de ponerla a secar nos contestan que se ha ido a sitios más o menos inverosímiles, pero nunca nos dicen que ha desaparecido.

Una vez establecidas las clases que distinguimos en la realidad, el segundo paso es representar en nuestro *esquema* las relaciones entre ellas, es decir, las acciones y reacciones que se producen cuando interaccionan entre sí.

Estas relaciones pueden ser muy sencillas, como las que corresponden a los procesos circulares de primer o segundo orden, los movimientos que experimentan los objetos cuando los lanzamos con más o menos fuerza, etc., o las más complicadas

como el provocar determinadas reacciones de los mayores por medio de acciones concretas del sujeto. Todas estas relaciones, que van adquiriendo estructura de leyes, perfeccionan poco a poco la exactitud de la representación mental del mundo en el que vivimos.

Es en ese esquema en el que realizamos las operaciones mentales que nos permiten resolver los problemas que plantean las acciones que emprendemos. El problema de las tres montañas<sup>[9]</sup> es un ejemplo de la operatividad del esquema mental, ya que sólo puede resolverse dentro de la representación que hemos construido, tanto geométrica como de relaciones entre los elementos que la forman (**Imagen 4**).



**Imagen 4.** Problema de las tres montañas de Piaget.

Así pues, por medio de la observación del mundo, de nuestra experiencia y experimentos y de la información que recibimos formamos un esquema en el que representamos el mundo real de una manera extraordinariamente simplificada.

## Adecuación del esquema de la mente al comportamiento del mundo real

Debe quedar claro que todo el conocimiento que poseemos del mundo exterior proviene exclusivamente del *esquema* que hemos construido de ese mundo y que almacenamos en nuestra mente. Nuestra capacidad de desenvolvernó en el mundo depende necesariamente de la exactitud con que el esquema refleje el mundo real.

El primer esquema del mundo real que el niño elabora se basa, como todos los demás que construirá después, en la observación de los objetos y en la experimentación que lleva a cabo sobre su comportamiento. Así, mediante manipulaciones directas de los objetos (manipulaciones que son verdaderos experimentos), a partir de los resultados de estos experimentos y mediante la aplicación de su lógica elemental, por medio de los razonamientos más elaborados que es capaz de realizar (en un principio razonamientos circulares), construye una representación de su entorno en el que los padres vienen cuando llora, los objetos caen cuando no están apoyados, las cosas no desaparecen nunca y, además, se mueven cuando se las empuja.



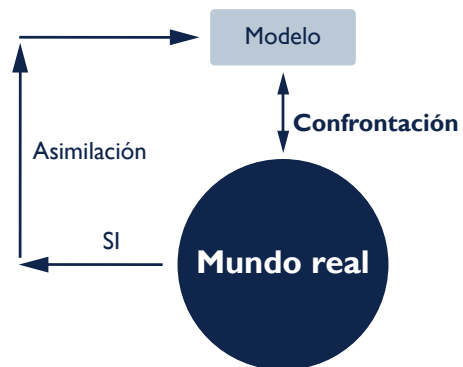
Este proceso de construcción del primer esquema o modelo científico (**Imagen 5**) es el primer proceso *vertical* que realiza. Es importante que nos demos cuenta de que llega a él por manipulación activa y de que todo el conocimiento que posee se condensa en ese modelo. Y lo más importante, la representación está formada por conceptos que se pueden dividir, como señaló Wittgenstein, en *cosas* (en las que se incluye su cuchara, sus juguetes, la manta o la almohada, es decir, nombres comunes) y en *hechos* (que se refieren a acciones como caer, sonar venir los padres, es decir, verbos).

A medida que va experimentando más con nuevos objetos somete los resultados de sus manipulaciones al modelo que ha elaborado. Durante mucho tiempo el comportamiento del mundo está de acuerdo con lo que su representación predice y este acuerdo supone un aumento de seguridad en la exactitud de su modelo. Cuando va comprobando que la gravedad actúa sobre cualquier objeto nuevo que se lance al espacio, que se produce sonido cuando se golpea cualquier material sólido que esté a su alcance, aumenta su confianza en lo que sabe y en el modelo o representación que ha formado previamente. Este proceso es el que Piaget llama *asimilación*. Se puede definir como el proceso de afirmación del esquema basado en la confrontación del comportamiento del mundo real y lo esperado a partir de la representación y ambos, previsión y comportamiento, coinciden (**Imagen 6**).

No debemos creer que el niño tiene un solo modelo que refleje el comportamiento del mundo. En realidad en su mente va formando diversas representaciones en las que va incluyendo diferentes aspectos de la realidad, aunque todos ellos intervienen por medio de conceptos; por esa razón para modelizar una parte de la realidad es imprescindible haber conceptualizado previamente las *cosas* y las *acciones* (en el sentido de Wittgenstein) que intervienen en el esquema. Así, para elaborar el esquema de *fa-*



**Imagen 5.** Construcción del primer esquema mediante procesos verticales.



**Imagen 6.** Proceso de asimilación. Confrontación del modelo y el mundo real.

*milia* es necesario llegar al concepto de *padre*, al que el niño accede antes incluso de conocer la palabra genérica. Es habitual que oigamos a niños referirse a las familias como un grupo compuesto por un *papá*, una *mamá*, un *pedrito* y un *sultán*; la razón por la que hemos utilizado las minúsculas en *pedrito* y *sultán* es porque en este caso juegan el papel de nombres comunes, ya que designan a los conceptos hermano y perro que convive con la familia. Lo mismo ocurre con *un papá*, que el niño utiliza para referirse al concepto de *un padre*.

No debemos creer que el proceso cognitivo de conceptualizar le resulta difícil al niño. Debemos tener en cuenta que cada concepto corresponde a un nombre común o un verbo (caso de las *cosas* y de las *acciones*). En realidad es parte del conocimiento con que nace y al que se refiere el lingüista Chomski cuando dice que los seres humanos nacemos con la capacidad de construir lenguaje, de la misma manera que los pájaros nacen con el conocimiento necesario para volar. Es fácil darse cuenta de la validez de la suposición de Chomsky con solo ver cómo un niño inventa palabras, sobre todo regularizando verbos en tiempos que no haya oído antes. «Escribido», «ponido», etc., son ejemplos claros de esta capacidad.

En este punto debemos aclarar que aunque el modelo que propone Piaget (**Imagen 7**) es completamente aplicable a la construcción del conocimiento científico, el campo de aplicación de la ciencia se limita a una parte muy restringida de la realidad: a la de las magnitudes, *cosas*, en el sentido que da Wittgenstein a la palabra, **que se pueden medir, pesar o contar**. Y estas *cosas* requieren procesos de conceptualización diferentes de las demás: requieren un tratamiento experimental que incluya procesos de medida<sup>[5]</sup>.



**Imagen 7.** Modelo de construcción de conocimiento de Piaget.

Debemos tener en cuenta que el proceso de conceptualizar la fuerza no es inmediato. Se trata de incluir bajo un mismo nombre (y símbolo) un conjunto de entes que comprenden la acción de la gravedad sobre un objeto, la atracción o repul-

sión entre dos imanes, la atracción o repulsión de las cargas eléctricas, el efecto de un muelle comprimido o estirado, lo que ocurre cuando apretamos un objeto con la mano o lo que experimenta todo objeto sumergido en un fluido. Todos estos fenómenos tienen en común la intervención de una fuerza, que Leonardo representó, por primera vez en la historia, por un símbolo común: una flecha. Y para este proceso de identificación de cosas tan dispares en un mismo concepto es imprescindible seguir un **método estrictamente científico**, diferente de los procedimientos generales que se aplican en la enseñanza.

Por esa razón la enseñanza de la ciencia presenta características especiales en todos los niveles y especialmente en las primeras etapas. Así como en el caso de la enseñanza a adultos basta con que el profesor esté formado en contenidos y métodos, en el caso de las primeras etapas debe tener, además, un conocimiento detallado de las etapas cognitivas del niño en lo referente a capacidad de conceptualización de las nociones científicas que intervienen en las enseñanzas.

Otra dificultad con la que nos encontramos en el ámbito de la enseñanza de la ciencia es que las palabras con que nos referimos a los conceptos científicos son las mismas que se utilizan en el lenguaje corriente, pero con significados muy diferentes. Energía, presión, fuerza, peso, inercia, empuje, la información en genética, los puertos informáticos, etc., responden a conceptos muy bien definidos y diferentes a los que representan en el lenguaje coloquial.

Otra de las diferencias esenciales entre la ciencia y las demás disciplinas radica en el estricto constructivismo que se debe aplicar en la conceptualización y en la modelización, lo que obliga a realizar constantes mapas de Novak. Para que los niños se den cuenta de lo que es la energía deben conocer el concepto de trabajo, y para ello tienen que manejar operacionalmente el concepto de fuerza.

Como el desarrollo de modelos y teorías a lo largo de la historia de la ciencia es también constructivista, podemos seguir la historia como método de enseñanza, aprovechando el hecho para relacionar ciencia y desarrollo de la sociedad.

## **El tercer paso:** La relación que existe entre las magnitudes

Los niños se dan cuenta muy pronto de la relación que existe entre las diversas magnitudes (cada una de las cuales corresponde a un concepto). Cuanto más grande es una botella de agua tanto mayor es su peso y la fuerza que tenemos que hacer para levantarla es mayor. Si nos movemos deprisa llegamos antes a los sitios

que están a la misma distancia y si nos movemos a la misma velocidad tardamos más en llegar a un sitio lejano que uno que se encuentre cerca. Esta relación que existe entre espacio o distancia y tiempo que tardamos, que hemos conceptualizado formando la magnitud *velocidad* (lo deprisa que me muevo), es un ejemplo de relación entre magnitudes.

Este mismo proceso tiene lugar en el mundo de la ciencia, pero presenta características especiales. Como las magnitudes se pueden medir, las relaciones entre ellas se pueden estudiar a partir de sus medidas, de esta forma, en ciencia, existen las definiciones y las leyes.

## El descubrimiento de las leyes de la naturaleza y la creatividad

Para entender la naturaleza de la ciencia es esencial darse cuenta de que el proceso de descubrir una ley no es, ni mucho menos, automático, interviniendo en ese proceso una gran dosis de creatividad. Para aclarar este punto podemos utilizar el caso de la ley de Snell o de la refracción.

En principio, para descubrirla se necesita realizar experimentos cuantitativos con un montaje que nos permita medir el ángulo de incidencia,  $\alpha$ , y el ángulo de refracción,  $\beta$  (**Imagen 8** y **tabla 1**).

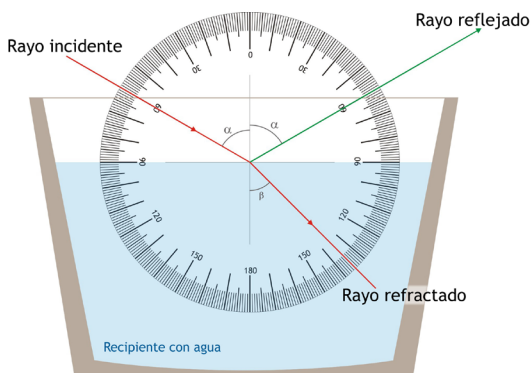


Imagen 8. Montaje para medir la refracción de la luz en el agua.

Ángulo de incidencia, en grados sexagesimales	Ángulo de refracción, en grados sexagesimales
0,00	0,00
5,00	3,76
10,0	7,50
15,0	11,2
20,0	14,9
25,0	18,5
30,0	22,1

Ángulo de incidencia, en grados sexagesimales	Ángulo de refracción, en grados sexagesimales
35,0	25,5
40,0	28,9
45,0	32,1
50,0	35,2
55,0	38,0
60,0	40,6
65,0	43,0
70,0	45,0
75,0	46,6
80,0	47,8
85,0	48,5

**Tabla 1.** Resultados de medir de la refracción de la luz en el agua.

En principio, el obtener la ley de la refracción consiste en descubrir la función matemática que reproduce los ángulos de refracción a partir de los ángulos de incidencia:

### **Ángulo de refracción = función (ángulo de incidencia)**

Pero esta tarea no siempre es sencilla. Tenemos que tener en cuenta que los valores que obtiene el experimentador contienen errores experimentales, sistemáticos y aleatorios, que ocultan la verdadera relación entre las medidas de los dos ángulos. Además, el experimentador está sometido a sus propios preconceptos; esto es lo que le ocurrió a Claudio Ptolomeo, que vivió en Alejandría entre el 90 y el 168 d.C. y era un excelente científico, a pesar de lo cual y obcecado por la idea de que las leyes de la naturaleza eran sencillas, llegó a la conclusión de que el ángulo de incidencia era proporcional al ángulo de refracción; su ley, como puede comprobarse, solo es parcialmente cierta para ángulos pequeños, y la historia tuvo que esperar setecientos años hasta que el árabe Ibn Sahl la descubrió en Bagdad. Por ello, decimos que el descubrimiento de las leyes conlleva una gran dosis de creatividad, como todos los procesos de generalización.

## **El modelo como unidad de conocimiento**

A veces nos hemos preguntado cómo podríamos hacernos una idea del conocimiento que poseían las personas de una cierta época histórica.

De acuerdo con lo que hemos expuesto, el conocimiento que tiene una persona sobre un determinado campo, por ejemplo sobre el cuerpo humano, puede evaluarse a partir de los modelos que maneja. Podrá describir el sistema digestivo de acuerdo con la

representación que haya construido a partir del conjunto de órganos que lo forman. Igualmente tendrá esquemas de los demás sistemas, tanto en lo que se refiere a la estructura o anatomía (que equivale a una foto fija) como a su funcionamiento o representación dinámica (fisiología). El conjunto de todos los modelos que un individuo ha construido contiene el conocimiento que posee.

En relación a este punto podemos citar la idea de *realidad* que tienen algunos filósofos empiristas, que la definen como el conjunto de todos los modelos posibles del mundo real. De acuerdo con esta forma de pensar la realidad para un griego es diferente de la realidad para un ciudadano de Florencia del siglo XVII y distinta de la realidad en la que nosotros nos movemos. Por ello, cuando enseñamos a una persona un modelo nuevo estamos aumentando el mundo en el que se puede mover, física e intelectualmente.

## La crisis como desencadenante de la creatividad

En el proceso descrito de descubrir nuevos fenómenos e intentar explicarlos con los modelos conocidos (asimilación), llega un momento en el que nos encontramos con un proceso nuevo, imposible de explicar con los conocimientos que poseemos. Es el caso de la desaparición del agua de la ropa mojada o de la aparición de un campo magnético sin la presencia de imán. En este caso, de acuerdo con Kuhn<sup>[10]</sup> y Piaget<sup>[11]</sup>, se produce en la mente de las personas una situación de crisis (**Imagen 9**).

Tras un periodo en el que se duda de la realidad del nuevo fenómeno o se intenta forzar el modelo antiguo para que explique de alguna manera el proceso nuevo, se llega a la conclusión de que es una tarea inútil. El modelo ya no nos sirve.

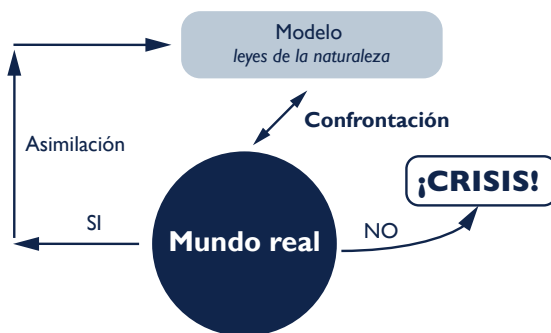


Imagen 9. Nuevo proceso: situación de crisis.

## Los modelos, mundos sutiles

Ante esta situación tanto el niño como el científico se ve obligado a inventar un modelo nuevo. Pero esto no es fácil ya que este nuevo modelo tiene que explicar no sólo los fenómenos inexplicables por el viejo sino todo el conjunto de los procesos

que constituían la *ciencia vieja* y que se entendían perfectamente hasta que sobrevino la crisis (**Imagen 10**). Así tenemos que admitir que el agua está formada por moléculas invisibles para el ojo desnudo y que los campos magnéticos son producidos por cualquier carga en movimiento, en contra de lo que hasta entonces habíamos pensado.



**Imagen 10.** El nuevo modelo debemos encontrarlo fuera de la caja.

Debemos dejar claro que este proceso *horizontal, transversal o divergente, que tiene lugar fuera de la caja*, corresponde a la *creación* de un modelo nuevo, distinto y, a veces, contradictorio con el esquema establecido: **es un proceso creativo**<sup>[12]</sup>.

Tradicionalmente se suele contar una historia para ilustrar el pensamiento divergente. Cuenta que había un molinero que trabajaba en un molino arrendado, cuya hija era de excepcional belleza. En años de sequía el molinero dejó a deber el dinero de la renta, pero como el tiempo pasaba y seguía sin llover el dueño del molino, hombre mayor y muy poco atractivo, le reclamó la deuda, a lo que el molinero contestó que no tenía modo de pagarle lo que le debía. El dueño del molino, viendo que no podía recuperar el dinero aunque el molinero fuese a la cárcel, le propuso un trato; pondrían en un saquito una piedra blanca y una negra, de las que cubrían la playa y su hija sacaría una de ellas, sin mirar. Si sacaba la piedra blanca la deuda quedaría perdonada, pero si sacaba la piedra negra la chica debería casarse con el dueño del molino sin rechistar. Tan desesperada era la situación que el molinero y su hija accedieron con mucha pesadumbre.

El día elegido para llevar a cabo el proceso, se reunieron en la playa el molinero y su hija, el juez que debía presidir el acto y todo el pueblo, que conocía y apreciaba al molinero y a su hija. El dueño se agachó, eligió una piedra blanca y una piedra negra de la playa e hizo ademán de introducir las en el saquito, pero la chica se dio cuenta de que en realidad había metido dos piedras negras que llevaba preparadas

en la manga. Rápidamente pensó en denunciar al dueño por tramposo, pero este podría decir que se había equivocado y repetir el proceso, con lo cual tendría un cincuenta por ciento de posibilidades de perder. La chica no dijo nada y siguió adelante con el proceso. Metió la mano sin mirar y sacó una piedra con el puño cerrado. Pero cuando iba a enseñárselo al juez tropezó y cayó al suelo, con lo que abrió la mano y la piedra cayó junto a los miles de piedras blancas y negras que formaban la playa. La chica se levantó rápidamente y dijo a todos los reunidos: no nos debemos preocupar; si miramos la piedra que todavía permanece en el saquito podemos saber con certeza el color de la piedra que el destino me ha hecho sacar. Así lo hicieron y todos pudieron comprobar que la piedra que quedaba era negra, con lo cual no había duda de que la que ella había sacado era blanca. No hace falta ningún tipo de discusión para ver la razón por la que esta clase de razonamiento, en la que se utilizan elementos diferentes de los que intervienen en el planteamiento del problema, se dice que tiene lugar *fuera de la caja*.

Volviendo al hilo de nuestra presentación podemos decir que la aceptación de un modelo nuevo suele ser un proceso nada fácil, incluso para su autor, y existen buenos ejemplos de ello. Los guiones de cine y las novelas de misterio contienen ejemplos en los que el protagonista tiene que modificar el modelo que tiene de una de las personas allegadas, al ir percibiendo pruebas de que le está traicionando. Estas pruebas suelen ser malinterpretadas voluntariamente por el que las percibe y sólo tras una lucha interna terminará aceptando el nuevo modelo del personaje, el de traidor.

La misma reacción ocurre ante un cambio de modelo en el mundo científico y tenemos muchos ejemplos de ello. Cuando Copérnico concibió el universo heliocéntrico no lo consideró una representación de la realidad sino una especie de truco matemático que le permitía predecir los movimientos de los planetas de manera más sencilla. Tan implantado estaba el modelo de Ptolomeo en la sociedad y en las mentes de las personas. Por eso fue tan importante la aportación de Galileo, al atreverse a defender la realidad del modelo de Copérnico (publicado en 1543), contrario al paradigma de la época. La labor de Galileo comenzó en 1610, con la publicación de un trabajo sobre las manchas solares y culminó con sus *Diálogo de los dos Máximos Sistemas de Mundo*, publicados en 1632, en los que defendía abiertamente la realidad física del mundo heliocéntrico. La reacción de la sociedad fue la que todos conocemos, una reacción ante la inercia que presentan tanto las mentes de los individuos como la del intelecto colectivo.

Lo mismo le ocurrió en 1963 a Murray Gell-Mann cuando publicó su modelo de quarks, también lo consideró una hipótesis útil para clasificar los hadrones, pero nada más. Igual que con el universo de Copérnico, poco después se comprobó que era cierto al ser identificados en el laboratorio.



## El proceso de acomodación de Piaget

El proceso divergente que hemos descrito es la base del mecanismo de cambio de modelo en el esquema de Piaget, mecanismo que él llama *acomodación*, por razones obvias. Este proceso es general en la vida del niño (y del científico). Así, de muy pequeño *crece* o explica la aparición de regalos debajo del árbol de navidad o en el zapato que deja el día 5 de enero en la ventana por la intervención de Papá Noel o de los Reyes Magos, pero cuando obser-

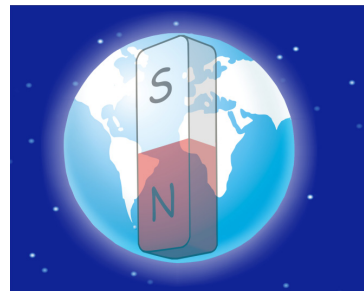
va contradicciones en su modelo o descubre alguna inconsistencia, se ve obligado a explicar los nuevos hechos fuera del modelo mágico anterior, en un auténtico proceso de acomodación piagetiana. Lo mismo ocurrió cuando Galileo observó que la Luna tenía montañas y valles como nuestra Tierra, en vez de ser perfectamente esférica como postulaba Aristóteles y aseguraban los escolásticos. No había más remedio que acomodar los modelos a los nuevos descubrimientos, para lo cual hubo que crear una nueva ciencia (**Imagen 11**).



**Imagen 11.** Nuevo modelo: acomodación.

Y en este punto aparece una situación nueva: nos encontramos con dos modelos diferentes de realidad: la del universo geocéntrico y la del heliocéntrico, o la del mundo mágico de los reyes magos y la real con la intervención de los padres. En contra de lo que dicta el sentido común, en ciencia se adopta una actitud simplificadora: en una situación concreta adoptaremos entre todos los modelos de que dispongamos, el modelo más sencillo entre los que proporcionen una respuesta correcta dentro de la precisión que requiera el problema. Así, para situar una estrella en el firmamento utilizaremos un sistema de coordenadas con centro en la Tierra, igual que para todas las operaciones de vuelos de aviones y navegación de barcos, aunque sabemos que nuestro planeta no está fijo en el espacio.

En enseñanza, a veces es conveniente enseñar un modelo obsoleto, como el del imán situado en el eje de la Tierra para explicar la existencia del campo magnético terrestre, aunque después tengamos que sustituirlo por otro más avanzado (**Imagen 12**).



**Imagen 12.** Modelo de magnetismo terrestre: imán situado en el eje terrestre.

El recorrer la historia de la ciencia nos da la oportunidad de enseñar al niño la belleza de los procesos de sustitución de un modelo por otro, a la vez que la conveniencia de utilizar representaciones aproximadas y obsoletas cuando no se requiere mayor precisión o comprensión más profunda del fenómeno.

---

### Referencias bibliográficas

- [1] CHOMSKY, N. *Aspects of the Theory of Syntax*. MIT Press, 1965. 251 pp.
- [2] VYGOTSKY, L. *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica. 1979.
- [3] Wikipedia. Jean Piaget. [En línea]: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Jean\\_Piaget](http://es.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget)> [Consulta octubre 2012].
- [4] FRANCIS BACON. *Novun Organum*. Buenos Aires: Losada. 2004. 354 pp.
- [5] REFOLIO REFOLIO, M.<sup>a</sup> C.; GÓMEZ DÍAZ, M.<sup>a</sup> J.; LÓPEZ ÁLVAREZ J. M. & LÓPEZ SANCHO, J. M.<sup>a</sup>. «La naturaleza del conocimiento: los modelos en la enseñanza de la ciencia». *Serie El CSIC en la Escuela*. N.º 2. CSIC 2011. 76 pp.
- [6] BORGES, JORGE LUIS. *Ficciones*. Textos en línea. [En línea]: <<http://www.textosenlinea.com.ar/borges/Ficciones.pdf>> [Consulta: septiembre 2010].
- [7] BOOLE, G. *Una investigación sobre las leyes del pensamiento*. Thomson Paraninfo, 1982.
- [8] FISILOGOI. *Teoría del conocimiento*. Revisado por Miguel de Córdoba. [En línea]: <<http://fisiologi.com/paginas/historia/inductivodeductivo.htm>> [Consulta octubre 2012].
- [9] PIAGET, J. *Problema de las tres montañas*. Publicado originalmente en 1947, se puede estudiar en: Aebli, H. *Factores de la Enseñanza Que Favorecen el Aprendizaje Autónomo*. Madrid: Narcea. 2001. 363 pp.
- [10] KUHN, T. S. *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de cultura Económica, 2005. 361 pp.
- [11] DOROTHY. G. S. & TRACEY. A. *A Piaget Primer: How a Child Thinks*. New York: Penguin Books. 1978. 160 pp.
- [12] OAKLEY, L. *Cognitive Development (Routledge Modular Psychology)*. Taylor & Francis digital edition. 2007. 176 pp.