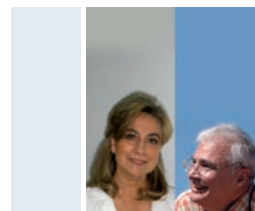


# Sistemas expertos, un divertimento para maestros



**María José Gómez\* y José M. López Sancho**

*Maestra y coordinadora del programa El CSIC en la Escuela*

*Investigador y director del programa El CSIC en la Escuela*

---

## Palabras clave

Conocimiento, modelos, aprendizaje, procesos cognitivos.

---

## Resumen

En este trabajo expondremos, de una manera muy simplificada, los elementos esenciales del proceso cognitivo, consistente en procesar información proveniente del mundo exterior a través de los sentidos para aumentar el conocimiento que tenemos de él. Este proceso ilustra, en nuestra opinión, las bases del modelo constructivista del aprendizaje y lo expondremos haciendo referencia al momento histórico en el que, en nuestra opinión, se forman los conceptos que aparecen en las definiciones de este método. Comenzaremos por un principio general y aceptado por todos los docentes: el objetivo de la enseñanza es que el alumno adquiera conocimiento. Pero si buscamos en la WEB la definición de conocimiento encontraremos tantas como búsquedas realicemos, sin que sea fácil elegir una que nos sirva en nuestras discusiones sobre sistemas educativos. Por ello propondremos una definición de conocimiento admitida en el mundo de los sistemas expertos, enlazándola a la teoría clásica de modelos desde la que poder tratar los procesos de aprendizaje en los que estamos interesados.

---

## Introducción y definición de un caso de sistema experto

Si buscamos en la Wikipedia la definición de conocimiento nos encontraremos con la siguiente descripción: «El conocimiento es, por una parte, el estado de quien conoce o sabe algo, y por otro lado, los contenidos descubiertos o conocidos que forman parte del patrimonio cultural del Homo sapiens que se consigue mediante la experiencia, la observación, la instrucción del experto o el estudio».

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

Otra definición que está muy extendida entre los profesionales de la enseñanza es la que propone Daedalus: el conocimiento es una capacidad humana y no una propiedad de un objeto, como pueda ser un libro. Su transmisión implica un proceso intelectual de enseñanza y aprendizaje.

Prácticamente todas las definiciones que encontramos en el campo de la psicología o de la enseñanza tienen en común el hecho de identificar el conocimiento como algo íntimamente unido a la persona que lo posee, de manera que no puede estudiarse separadamente, como algo que exista independientemente. Nosotros, en cambio, proponemos seguir un camino alternativo, totalmente diferente, utilizado por los informáticos y por los profesionales del campo de los sistemas expertos. El concepto de conocimiento que ellos proponen y que utilizan en su trabajo se define como un producto que puede ser transferido de una persona a otra, de una persona a un sistema o de un sistema a una persona o a otro sistema. No es, de manera alguna, una propiedad inherente a las personas o a las máquinas, como lo es la inteligencia. El conocimiento almacena la información acerca de una parte del mundo de tal manera que permite a una persona o sistema experto predecir el comportamiento de esa parte del mundo y, consecuentemente, tomar ciertas decisiones encaminadas a conseguir un fin. Esto equivale a decir que el conocimiento es una cosa, en el sentido de Wittgenstein.

Para entender de forma conveniente esta definición haremos referencia al camino histórico que permitió a Norbert Wiener llegar a ella. Aunque Wiener trabajó en el campo de la teledirección de misiles, nosotros vamos a estudiar los principios del sistema experto en un ejemplo más próximo, el navegador por GPS.

En este contexto, Norbert Wiener publica en 1948 un libro titulado *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*. En esta obra introduce el concepto de cibernética, que será aceptado a partir de entonces y que en la actualidad es de uso común. La idea surgió como resultado de los trabajos de Wiener en sistemas retroalimentados, que pasamos a explicar a continuación aplicándolo al caso, conocido de todos, de los navegadores basados en GPS.

De acuerdo con el planteamiento de Wiener un navegador es un sistema que tiene un propósito u objetivo: llegar a un lugar determinado de la superficie terrestre partiendo del punto en el que se encuentra. El hecho de que el sistema tenga una intención lo dota, de acuerdo con Wiener, de una de las características de la inteligencia.

El problema del navegador es, en principio, hallar la trayectoria que une el origen con el lugar de destino utilizando la red de carreteras. Para ello cuenta con un receptor de GPS que le permite determinar en todo momento su situación en coordenadas geográficas. Además dispone de un mapa o modelo simplificado del mundo, que tiene señalados los caminos posibles por los que se puede desplazar por el mundo, es decir, las carreteras. También dispone de una tabla o base de datos en la que se encuentran las coordenadas de todos los puntos de destino posibles: ciudades, calles y número de edificio.

Por medio del GPS el navegador determina sobre su mapa el punto de origen, del que partimos. A continuación determina el punto de destino, por medio de las coordenadas que tiene en la base de datos. Inmediatamente después determina, sobre el mapa de carretera (modelo del mundo), los caminos posibles que unen el origen al destino y las correspondientes longitudes y elige, entre ellos, el más corto. Esta es la primera parte del sistema de Wiener.

Supongamos ahora que seguimos las indicaciones del navegador pero que, en un momento determinado, no tomamos el camino correcto. El navegador se dará cuenta de nuestro error, ya que nuestra situación no coincide con ninguna del camino elegido, y calculará una nueva trayectoria partiendo de nuestra situación equivocada. Como resultado rediseñará un camino que corrija nuestro error. Este proceso de corrección es el que corresponde a la retroalimentación.

El concepto corresponde al proceso por el que el sistema observa el error, (diferencia entre nuestra posición errónea y la posición correcta en la que nos deberíamos encontrar); este error lo convierte en un dato que introduce en el navegador (lo alimenta con este dato) de manera que el sistema elimine el error.

En este ejemplo vemos todos los elementos de un sistema inteligente o experto:

1. La máquina presenta una intención bien definida, un objetivo que debe perseguir.
2. La máquina posee una memoria en la que almacenar datos.
3. Posee igualmente una memoria en la que almacena el programa lógico o algoritmo.
4. El sistema se relaciona con el mundo exterior a través de elementos que le permitan recibir señales del mundo (una especie de sentidos) por medio de los cuales conoce el lugar en que está situado. En nuestro caso el órgano

de recepción está constituido por la antena del GPS que le permite recibir las señales de los satélites a partir de las cuales determina su posición en el globo terráqueo.

5. Dispone de un modelo del mundo con información detallada de los caminos por los que puede moverse. Gracias a sus sentidos conoce el punto exacto en el que se encuentra en el mundo real y lo traslada a su modelo de mundo (el mapa).
6. Todo lo que necesita, además, es realizar simples operaciones de sumas y restas y poder comparar dos números, de manera que pueda determinar cual es el mayor.

Estas son, en esencia, las características que definen un sistema experto elemental, el caso más sencillo sobre el que estudiar los procesos de construcción del conocimiento.

## El proceso de aprendizaje

Una vez definido nuestro sistema, aunque sea de una manera no muy profunda, podemos deleitarnos intentando aplicar a esta máquina los principios de la construcción del conocimiento que poseemos del campo de la enseñanza. Aquí solo esbozaremos algunos de los casos posibles, pero estamos seguros que nuestros lectores extenderán esta especie de juego a otras situaciones.

Si analizásemos nuestro navegador utilizando el modelo de Piaget, el mapa del navegador (nuestro modelo del mundo) jugaría el papel de **esquema**. Una vez fijado nuestro destino, si seguimos el camino que nos dicta la máquina no haríamos más que comprobar la exactitud de nuestro esquema. Es el caso en el que un niño lanza un objeto con la intención de que caiga en el suelo. La trayectoria que sigue el objeto y el punto de destino coincide con la trayectoria prevista por el niño y no aparece ninguna necesidad de modificar el esquema.

## Proceso de asimilación

En el caso en que llegáramos a una bifurcación y no tomáramos el camino correcto, situándonos en un punto exterior a la trayectoria calculada, se produciría un proceso de **asimilación**. Como todos recordamos la asimilación piagetiana consiste en la incorporación o internalización de una información (proveniente de un

objeto o suceso) en un esquema existente, de manera que se mantenga el **equilibrio** entre su mapa y la realidad. En nuestro caso el navegador situaría su posición en un punto exterior a la ruta, pero situado en una de las carreteras que existen en su mapa. Como resultado el mapa o esquema sigue siendo válido y lo único que haría sería recalcular la trayectoria. Estamos en un caso semejante al inicial.

## Situación de desequilibrio

Supongamos que, siguiendo el camino hacia nuestro destino que nos dicta el navegador encontramos una autopista nueva, recién construida, con una gran señal que indica que nos llevará a nuestra meta. Si tomamos la decisión de tomar esa nueva carretera el navegador se encontrará en mitad del campo, fuera de los caminos señalados en su mapa. Esto lo lleva a una situación de **desequilibrio**, en la que se produce una diferencia fundamental entre su esquema o mundo modelizado y su situación en el mundo real. Los navegadores actuales no son lo suficientemente inteligentes como para reaccionar ante esta situación como sabemos que lo hacen los niños desde que comienzan a percibir el mundo. Nuestra máquina se desorienta y se queda en una situación en la que no puede resolver el problema con el que se enfrenta.

## El proceso de acomodación, y nueva situación de equilibrio

Este proceso es cualitativamente diferente del anterior, ya que es uno de los métodos que conducen a la construcción de conocimiento, es decir, una característica propia de los sistemas inteligentes y que sólo ellos poseen.

Si el navegador tuviera la posibilidad de llevar a cabo procesos de acomodación tomaría nota de sus nuevas posiciones y las añadiría a su mapa en forma de una nueva carretera, modificando así el modelo su mundo.

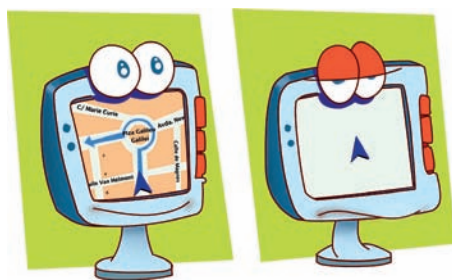
Recordemos que el conocimiento que el sistema tiene del mundo está almacenado (por decirlo de alguna manera) en su mapa. Al modificar este mapa está aumentando el conocimiento que posee del mundo real. Este proceso, llamado por Piaget de **acomodación**, es el que permite construir nuevo conocimiento a los sistemas inteligentes, entre los cuales nos encontramos nosotros.

Una vez que el navegador hubiera añadido el nuevo camino a su mapa, se hallaría de nuevo en una situación de equilibrio. Si fuese humano y sintiese emociones esto le proporcionaría una sensación de tranquilidad, que nosotros percibimos cuando sentimos que nuestro modelo coincide con el mundo en el que vivimos donde se cumplen nuestras predicciones sobre el comportamiento de las personas y los objetos que nos rodean.

Como veremos en futuros trabajos, este proceso es muy similar al que describe Thomas Samuel Kuhn en su obra *La estructura de las revoluciones científicas*; pero en este caso el proceso no tiene lugar en el interior de una persona sino en una parte de la comunidad científica. Y es que parece que la forma en la que los seres humanos asimilan y construyen conocimiento es la misma desde que nacen, ya sea un proceso personal o social.

## Un navegador constructivista

Ahora nos encontramos en condiciones de describir un sistema experto capaz de construir conocimiento. Si dispusiésemos de un sistema de este tipo no necesitaríamos descargar todos los años los mapas actualizados para actualizar nuestro navegador. El proceso que seguiríamos sería, más o menos, el siguiente. Una vez adquirido un navegador nuevo nos dedicaríamos a recorrer ciudades y carreteras, de manera que la máquina fuese tomando nota de los posibles caminos y construyendo su mapa. Cuantos más caminos hubiésemos andado más exacta sería la representación de nuestra máquina y más útil nos resultaría. Sería una máquina con más conocimiento. Este modelo de sistema es el que vamos a emplear en los párrafos siguientes.



**Imagen 1.** Navegador con «conocimiento» y sin «conocimiento».

Es evidente que nuestra máquina tendría un grave inconveniente (**Imagen 1**), habría que enseñarla todo desde el principio, lo cual constituiría un problema, salvo que inventásemos algún sistema por el que otra máquina más vieja y con más conocimiento la pudiese transferir los datos a la nuestra. Como el navegador no cuenta con más medio de aprender que el de asimilación y acomodación tendríamos que simular de alguna manera situaciones que pusiesen al navegador en situaciones apropiadas. Y así inventaríamos una didáctica para navegadores.

## **Aplicación al proceso de aprendizaje de la ciencia en las aulas de infantil y primaria**

Aunque el modelo que hemos expuesto es extremadamente simplificado, lo hemos hecho porque consideramos que puede ser útil tanto para aclarar nuestros conceptos como para nuestro propio divertimento, aspecto muy importante que no debemos despreciar.

Como hemos visto, la construcción de conocimiento que hemos estudiado se lleva a cabo construyendo un modelo nuevo del mundo o modificando un modelo preexistente; ambas situaciones se dan, como todos sabemos, en nuestras aulas.

La primera de estas situaciones suele darse cuando enfrentamos por primera vez a nuestros alumnos con el modelo molecular de la materia. El procedimiento que seguimos es el de mostrarlos cómo aparece, por condensación, una cantidad apreciable de agua sobre la superficie de un bote de refresco que se halla por debajo de la temperatura de rocío. Los alumnos no disponen de ningún modelo previo que puedan utilizar como referente y, como consecuencia, se encuentran en una situación de acomodación sin modelo que modificar. No es extraño, ya que el modelo molecular lo comenzó a esbozar Leucipo, hacia el siglo V a. C. y no se admitió de forma universal hasta que Einstein publicó su trabajo sobre el efecto browniano en 1905. En esta situación no tenemos más remedio que ayudarlos a construir un modelo nuevo para ellos.

Una vez que han adquirido las ideas fundamentales de este modelo, podemos proporcionar los ejemplos de procesos que pueden explicar con la teoría molecular, como la de la evaporación de los charcos, el proceso por el que se seca la ropa o la obtención de la sal por evaporación del agua del mar. Todos estos procesos de asimilación tienen en común la persistencia de las moléculas de cada sustancia, ingrediente esencial en la presentación que les hemos hecho del modelo.

También podemos, si es nuestro propósito, inducir en ellos una situación en la que tengan que acomodar nuevas situaciones, como ocurre cuando vertemos vinagre sobre bicarbonato. En este caso las moléculas del ácido reaccionan con las del bicarbonato para formar nuevas sustancias, la más notoria de las cuales es un gas, el CO<sub>2</sub>.

Y así nos vemos obligados a cambiar drásticamente nuestro modelo: las sustancias no son elementos; sus moléculas están formadas por combinaciones de átomos que, de momento, consideraremos elementales, sin partes. Y estudiaremos cómo la composición de las moléculas determina su comportamiento. Mas adelante vere-

mos que tampoco los átomos son elementales, que también están formados por partículas más pequeñas. Electrones, protones y neutrones los forman siguiendo reglas de la naturaleza bien determinadas. Y así, abriendo una por una las muñecas rusas de la composición de la materia iremos mostrando en unos años lo que se ha tardado en descubrir más de dos mil años. Y, milagrosamente, si hacemos bien nuestro trabajo, nuestros alumnos lo aprenden.

## Conclusiones

En otros trabajos iremos extendiendo nuestra exposición e introduciendo nuevos conceptos; pero no queremos dejar de citar el hecho, esencial en el tema de la educación en los primeros años, de que nuestros alumnos van madurando a una velocidad comparable con la complejidad de las materias que deben aprender. Es como si tratásemos con una máquina cuyas posibilidades aumentan de día en día, haciéndose más inteligente. Pero este tema es, de momento, demasiado complejo para la cibernética.

---

## Referencias Bibliográficas

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

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

Wikipedia [en línea]: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Conocimiento>> [consulta: Junio 2010].