



Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos

Miguel A. Sanz Bobi *

¿Qué es Inteligencia Artificial?

EL hombre está dotado de un don extraordinario como es la inteligencia. Mediante su uso interactivo con el entorno que le rodea trata de hacer posible su existencia satisfaciendo sus necesidades de la manera más eficaz posible. Sin embargo, a pesar de que la inteligencia es un concepto bien conocido por todos, encontrar una definición perfecta de la misma es difícil sin dejar de cubrir alguno de los muchos aspectos que son alcanzados por ella. Así, algunas definiciones simples pudieran ser: «Habilidad para adquirir, comprender y creativamente aplicar el conocimiento», «Habilidad para razonar y comportarse», etcétera.

Si encontrásemos una definición satisfactoria para la inteligencia que podemos denominar «natural», la definición para «inteligencia artificial» se podría hacer por extensión diciendo que es dotar de la capacidad de inteligencia por medios artificiales a algo que no la tiene. Dejando aparte

* Instituto de Investigación Tecnológica. Universidad Pontificia Comillas. Madrid.

el paralelismo entre conceptos de inteligencia natural y artificial, se puede decir que la Inteligencia Artificial (AI) es una rama de la ciencia de la información que trata de implantar en un ordenador una parcela restringida pero definida del conocimiento humano así como su tratamiento, dando lugar por tanto a sistemas inteligentes dotados con esta capacidad.

Origen y evolución de la Inteligencia Artificial

EL origen de la IA también es difícil de establecer en términos rigurosos, ya que la idea de emular habilidades humanas se puede encontrar ya presente en el nacimiento de las primeras máquinas conceptuales que serían capaces de procesar números y símbolos, como por ejemplo, la máquina de Turing de 1936. Sin embargo, tanto la palabra como el concepto de IA, tal como se entiende hoy, fue definitivamente acuñado en el verano de 1956 en una conferencia en el Dartmouth College a la que asistieron los científicos pioneros en esta nueva rama de la ciencia. Hasta llegar a este punto hubo que asistir al desarrollo de importantes contribuciones teóricas, tales como la teoría de las referencias de Tarski (1944-1956), y tecnológicas, tales como el nacimiento de los primeros ordenadores de la década de los 40 (ENIAC, EDVAC, UNIVAC), que aunque no surgieron bajo el concepto de IA ayudaron de indudable manera a su conformación.

En los años 70, el desarrollo de la IA tuvo un fuerte empuje y consolidación animado por el importante avance conseguido en las capacidades de los ordenadores. Hoy día la Inteligencia Artificial es una rama tecnológica plenamente afianzada en el dominio científico.

Bajo la cobertura del concepto de Inteligencia Artificial se puede encontrar en la actualidad una gran área de investigación formalizando sus múltiples facetas a través de diferentes disciplinas tales como sistemas expertos, redes neuronales, sistemas basados en lógica borrosa, etc. Asimismo existen desarrollos de productos de uso industrial en casi todos los ámbitos de experiencia humana: diagnóstico, robótica, medicina, economía, etc.

Una de las disciplinas mencionadas por su importancia histórica, volumen y papel en el desarrollo de la Inteligencia Artificial no puede ser pasada por alto aquí y es la que se refiere a los Sistemas Expertos a los que se dedicará el resto de los comentarios.

Sistemas Expertos

UN Sistema Experto (SE en adelante) es un programa de ordenador que trata de emular el comportamiento de una persona experta en un dominio de conocimiento específico ante un problema que se plantee en dicho dominio y cómo llega a su solución.

Así, supongamos un médico especialista en el tratamiento de una enfermedad. Este médico, tras los años de ejercicio, dispone de un conocimiento importante adquirido a través de diversas fuentes científicas y de su importante experiencia de trabajo. Cuando un paciente llega a su consulta con una enfermedad, él analiza los síntomas del paciente e intenta explicarlos a través de su conocimiento para llegar a una conclusión o diagnóstico. Un SE en este campo sería un programa de ordenador que emularía la forma de razonar de ese médico y podría concebirse como una herramienta al servicio de médicos expertos o no en ese dominio de conocimiento.

La idea de utilizar SE para resolver problemas de la vida real nació entre los años 65 a 70 y vino de la mano de dos de ellos: DENDRAL, concebido para identificar estructuras de componentes orgánicos, y MACSYMA para tratamiento matemático simbólico. Tras estos primeros SE se desarrollaron entre los años 70 a 77 otros que resultaron ser muy conocidos tales como MYCIN para diagnóstico médico de enfermedades y selección de terapias a seguir, PROSPECTOR para localización de yacimientos minerales, etc. Finalmente se produjo una gran explosión de realizaciones de SE y su industrialización abarcando campos y temas muy diversos hasta llegar a nuestros días. Cabe destacar, de entre una larga lista de temas tratados, los éxitos alcanzados en el desarrollo de SE en el campo de la medicina, identificación y síntesis de compuestos químicos, configuración de ordenadores, ayuda a la toma de decisiones, ingeniería de diseño, diagnóstico de procesos industriales, robótica, visión artificial y análisis de voz.

Elementos de un Sistema Experto

COMO antes se ha citado, un SE pretende emular la actuación de una persona experta en un dominio de conocimiento concreto, como el médico del ejemplo mencionado antes.

Para conseguir este objetivo está dotado de una arquitectura con un contenido y una funcionalidad que recuerda tanto las fuentes de información como las herramientas y forma de proceder que habitualmente utiliza un experto en el desarrollo de su trabajo cotidiano. Esta arquitectura consta de los siguientes tres elementos básicos: Base de Hechos, Base de Conocimientos y Motor de Inferencias.

La Base de Hechos representa de forma convenientemente codificada el entorno real sobre el que ha de trabajar un SE, es decir, incluye la definición de sus diferentes componentes, las interrelaciones entre ellos y las posibles informaciones que acerca de su estado o evolución del mismo se pueden tener disponibles. La Base de Hechos equivale al entorno de trabajo sobre el que actuaría un experto. Ésta contiene típicamente información estática y dinámica. La información estática se refiere a la definición física de componentes de ese entorno y sus relaciones. Éstos rara vez cambian o lo hacen muy de tarde en tarde. Así, por ejemplo, la representación de una máquina será siempre la misma a no ser que ésta se cambie por otra o se modifiquen sus características. La información dinámica se refiere a datos que miden alguna característica de los componentes o sus relaciones y que dependerán de las circunstancias del momento presente. En definitiva, utilizando una expresión sencilla se puede decir que la Base de Hechos es algo así como los «ojos» de un experto que analiza la situación de su entorno de trabajo.

La Base de Conocimientos, como su nombre indica, ha de contener todo el conocimiento experto acerca del dominio de trabajo. Equivaldría a la codificación conveniente de toda la sabiduría propia de un experto en la materia en cuestión. Como fácilmente puede intuirse, es un componente clave en un SE y de él depende de forma poderosa su éxito o fracaso. Cuanto más fielmente quede recogido el conocimiento de una persona experta, y sea luego utilizado de forma similar a como ella lo hace, tanto más eficaz será el SE.

El Motor de Inferencias es el procedimiento por el cual se asocian hechos que se observa están ocurriendo, con conocimientos relativos a los mismos, para de ahí obtener conclusiones. Como se ve una vez más, el método de actuación es similar al utilizado por una persona experta para la resolución de un problema que se le presenta, esto es, el experto observa unos síntomas del mundo real (en el SE a través de la Base de Hechos), extrae de su conocimiento lo que sabe acerca de esos síntomas (en el SE se usa la Base de Conocimientos) y finalmente relaciona hechos

observados con su experiencia (en el SE eso lo hace el Motor de Inferencias) para hacer una serie de conjeturas que le puedan llevar a una explicación de las razones o causas por las que esos hechos están presentes.

¿Cómo se construye un SE?

EN la definición de SE ya se ha dicho que éste es un programa de ordenador. Sin embargo, aunque el resultado sea ése, el procedimiento para conseguirlo no es el mismo que el seguido para el desarrollo de un programa informático convencional.

Hay múltiples consideraciones a tener en cuenta en la construcción de un SE. Entre ellas, desde el punto de vista conceptual, destacan:

- Cómo adquirir y mantener vivo el conocimiento.
- Cómo representar el conocimiento.
- Qué método de razonamiento ha de usarse.

La labor investigadora ha hecho emerger diversas ideas o enfoques acerca de cómo dar respuesta a estos interrogantes. Una rápida visión de las más conocidas se enuncia seguidamente.

Adquisición del conocimiento

ES el principal cuello de botella de los SE. Requiere de una persona especializada para realizar esta labor, que en los primeros años de desarrollo de SE se le llamaba Ingeniero del Conocimiento. El Ingeniero del Conocimiento no suele ni coincidir con el experto ni tener amplios conocimientos en la experiencia a recoger.

El método usual de recogida del conocimiento es a través de diversas entrevistas dentro de una disciplina de trabajo, por medio de las cuales se extrae y va dando forma a la experiencia que debe de contener el SE. Esta tarea a veces puede llegar a ser frustrante por diversas causas como la poca disponibilidad de tiempo extra del experto para este trabajo, no existencia del experto adecuado, resistencia a abandonar secretos personales de trabajo, etc.

Representación del conocimiento

CON objeto de que el SE pueda simular el comportamiento de un experto es necesario estudiar qué conocimiento hay que codificar en el SE y cómo codificarlo para su uso posterior, es decir, surge la necesidad de disponer de esquemas que permitan representar el conocimiento. Estos esquemas han de ser capaces de modelar el conocimiento como un conjunto de relaciones entre hechos pertenecientes al dominio a representar. A su vez los hechos serían valores de atributos que definen algo sobre los objetos del dominio a representar. Así, en la frase el cielo es azul, azul sería un valor de un hecho acerca del objeto cielo. Las relaciones pueden responder a descripciones de secuencia de sucesos o actividades, secuencia cronológica, categorías jerárquicas de clases, incertidumbre, etc.

Hay dos grandes tipos de esquemas de representación de conocimientos: declarativo y procedural. El primero enfatiza la representación de hechos y aserciones e incluye el cómo ha de utilizarse el conocimiento. Sin entrar en detalles, y sólo a título informativo hay que mencionar que esta forma de representación de conocimiento se puede realizar mediante lógica formal, redes semánticas, *frames* y *scripts*.

Los esquemas de representación del conocimiento procedural se basan en el uso de reglas de producción. Una regla de producción consta de dos partes, una primera de hipótesis y una segunda de conclusiones. La parte de hipótesis va encabezada por la palabra SI seguida de las hipótesis, una o varias. La parte de conclusiones va encabezada por la palabra ENTONCES seguida por las conclusiones, una o varias. Un ejemplo de este tipo de representación podría ser el siguiente:

Si	el tren sale a las 4 de la tarde y son las 4:30 y no estoy en la estación
Entonces	perderé el tren y tendré que esperar al siguiente

Ésta es la forma más extendida de representación del conocimiento. La Base de Conocimientos estará constituida por cuantas reglas de pro-

ducción, u otro tipo de esquemas, sean necesarias para recoger el conocimiento del experto.

Métodos de razonamiento

EL método de razonamiento utilizado depende en gran medida del esquema de representación de conocimiento elegido. En cualquier caso dos son los tipos principales de estrategias de razonamiento utilizados fundamentalmente: razonamiento hacia adelante o «*forward chaining*» y razonamiento hacia atrás o «*backward chaining*». En el primero, a partir de unos síntomas se intenta llegar a unas causas de los mismos, en el segundo el proceso es el contrario.

El proceso de razonamiento o de inferencias, aparte de la estrategia que utilice, debe de ser siempre capaz de identificar los elementos del conocimiento importantes para la solución de un problema, ser capaz de resolver situaciones conflictivas o contradictorias, así como de activar y controlar el conocimiento e interpretar sus resultados.

Por último, para acabar esta breve introducción sobre cómo se construye un SE hay que mencionar los tipos de herramientas utilizados para ello. Éstas se pueden clasificar en tres grandes grupos: lenguajes de programación, *shells* y entornos de desarrollo. Los lenguajes de programación son concebidos como instrumentos para construir desde cero un SE, mientras que las *shells* y los entornos de desarrollo ponen una serie de recursos o facilidades al servicio desarrollador del SE.

Entre los lenguajes de programación hay que citar LISP como uno de los más utilizados en los primeros desarrollos de SE y PROLOG. Hoy día se suelen utilizar lenguajes no específicamente del ámbito de la IA como C o C++ ya que disponen de capacidades antes inexistentes y relegadas a lenguajes muy específicos de IA.

Las *shells* son SE vacíos o sin dominio específico de conocimiento que disponen de todos los elementos de un SE a la espera de que sea rellenado con el conocimiento concreto al que se vaya a aplicar.

Los entornos de desarrollo son capaces de soportar diferentes herramientas de programación mezclando lenguajes y *shells*. Hay disponibles comercialmente una amplia variedad de lenguajes, *shells* y entornos de desarrollo.

Aportaciones de los Sistemas Expertos

LAS ventajas que pueden aportar los SE son varias. De entre ellas pueden entresacarse las siguientes:

- Ayuda a la resolución de problemas en un dominio de conocimiento a personas no expertas en el mismo.
- Ayuda a personas expertas mediante corroboración o matización de sus conclusiones por un camino alternativo.
- Posibilidad de su uso en entrenamiento o aprendizaje de personas sin experiencia.
- Capacidad para tener presente toda la experiencia en todo momento de una forma rápida con independencia de las horas de trabajo de la jornada, estado de ánimo, etc., que puede afectar a cualquier persona.
- Liberación o al menos relajación de la intensidad de ciertas tareas rutinarias que exigen una atención continuada por parte de personas.

Una de las más fehacientes pruebas de la existencia de estos beneficios es el interés y la ingente cantidad de desarrollos de SE que se han realizado en un relativo corto período de tiempo. Si bien hay que decir que no todos han acabado en éxito, unos han sido vendidos como tales sin serlo y otros han sido abordados por personal poco cualificado. Frente a éstos, otros numerosos desarrollos acometidos por universidades y empresas y con experiencia de operación en el mundo real de varios años avalan sin lugar a dudas la credibilidad científica e industrial de esta nueva tecnología.

Reflexiones acerca del impacto laboral, social, económico y científico de los SE

DESCRITAS las características generales de la Inteligencia Artificial y de una de sus disciplinas más importantes como es la de los SE, a poco que el lector reflexione sobre el alcance que podrían tener estas técnicas en la vida cotidiana, pueden asaltarle inquietudes a favor y también en contra acerca del impacto de las técnicas en la vida. En el intento de despejar en la medida de lo posible esas inquietudes se enumeran a continuación algunas de ellas.

Al imaginar un SE trabajando en un entorno, su impacto en el orden laboral trae inmediatamente, a la mente del poco instruido en esta disciplina de la Inteligencia Artificial, una serie de nubarrones oscuros y que desde este mismo momento se pueden calificar de falsamente fundados. Así, no es raro observar cómo tras la exposición del concepto de SE a una persona que lo desconoce, la primera idea que le viene a la mente, tras una reflexión posterior, es la siguiente: «Si un SE puede resolver problemas en un dominio específico de conocimiento como lo haría una persona experta, ¿cuál sería el papel de esa persona experta ahora si ya todo lo que sabe lo sabe también una máquina?». Tirando del hilo desde esta postura, más negativamente se podría llegar aún más lejos en este razonamiento. Así, un experto requiere un salario; a veces se pone enfermo faltando a su trabajo; si no está contento con su situación puede proponer reivindicaciones laborales y, aun siendo experto, corre el peligro de equivocarse bien sea porque se le olvida algún detalle en momentos críticos o porque su estado de ánimo no es bueno, está cansado, etc. Por otro lado, si en un ordenador un SE hace lo mismo que un experto, frente al anterior razonamiento habría muchas ventajas: los ordenadores no cobran salarios ni exigen demandas laborales, están siempre despiertos, no se cansan y no se les escapa detalle; sí pueden estropearse, pero aun así no importa, se podrían poner dos o más para asegurar la fiabilidad y disponibilidad del servicio. De aquí inmediatamente se concluiría erróneamente que los sistemas expertos vienen a desplazar a las personas o que los SE son unos tenaces enemigos de la subsistencia del puesto de trabajo de los expertos.

Este recelo, contado así exageradamente, no puede decirse que no exista en la realidad. De hecho es frecuente encontrarse al inicio del desarrollo de un SE, y máxime si el experto no ha oído hablar o ha oído poco de esta tecnología, con posturas poco dispuestas a ceder el saber que ha adquirido con tanto esfuerzo y sacrificio a lo largo de su vida profesional. Ciertamente esta tensión inicial desaparece inmediatamente después.

Dejando esta vertiente exageradamente negativa de los SE, otra que no es menos negativa, pero ahora no en el campo laboral sino en el de las ideas y principios humanos, es aquella basada en la capacidad de las máquinas para pensar y ordenar acciones. Es decir, si estamos enseñando a las máquinas a actuar como personas, el hasta dónde se podría llegar por aquí podría ser un punto de discusión importante. O bien, si a las personas se les ha dotado de un don tan significativo como la inteligencia

¿podría a su vez usarse ese don para implantarlo en otras cosas inanimadas como por ejemplo ordenadores? ¿Llegaría el hombre a ser esclavo de las propias máquinas?

Después de todas estas posibles ideas negativas que pudieran asaltar al lector, para tranquilidad de éste y adelantando la conclusión del razonamiento que sigue en los siguientes párrafos, se puede decir que la capacidad de la inteligencia humana aún está a una enorme distancia de estos sistemas inteligentes. Creer que las máquinas pueden gobernar las acciones del hombre de forma inteligente es todavía solamente fuente de guiones cinematográficos de ciencia ficción. En el mismo sentido, creer que ya no se necesitan personas expertas haciendo su trabajo también es una idea equivocada.

Los SE han de ser entedidos como lo que son, es decir, una pieza más del avance tecnológico de la ciencia en el entorno de la vida del hombre como lo han sido tantas otras. Como tal, su verdadero papel es ayudar en determinadas funciones haciendo más cómoda, fiable y segura cualquier actividad que requiera una especialización importante.

Los SE en el mundo real no apartan de sus funciones a los expertos, sino que por el contrario ambos coexisten resultando que el experto tiene un ayudante eficaz con quien contrastar ideas en aquéllos, lo cual es beneficioso sin lugar a dudas. No sólo eso sino que los SE pueden ayudar a formar personas que posteriormente pueden convertirse en expertos requiriendo para ello menos tiempo que sus predecesores y por tanto con un camino por delante más largo de perfeccionamiento de su conocimiento. Además, ante la falta temporal del experto, el SE puede ayudar a otras personas que no lo son a resolver problemas complejos o menos cercanos a su saber. Todo ello hace que el impacto real de los SE en el orden laboral y también sin duda en el económico, por lo que conlleva de seguridad y de ayuda en el trabajo, sea mercadamente benéfico y positivo.

Es conocido por todos que cualquier avance tecnológico que introduce una cierta modificación en la forma en la que tradicionalmente se venían haciendo las cosas trae este tipo de discusiones y reflexiones sobre ventajas y desventajas, y en el caso del uso de SE, éstas no son una excepción. Normalmente cuando una innovación resulta realmente eficaz para el desarrollo de la vida, ésta acaba imponiéndose por sí sola.

La realidad tecnológica actual de los SE, y la experiencia de trabajo que se tiene con estos sistemas, disipa completamente esos posibles brotes de alarma y los términos de cualquier discusión en contra de los SE

como sustitutos de personas. En el orden científico, la aparición de los SE funcionando en el mundo real ha contribuido poderosamente a su rápido desarrollo y desde aquí a contemplar otras investigaciones un paso más allá. Efectivamente hay SE muy efectivos funcionando en el mundo real, por ejemplo, ayudando a diagnosticar enfermedades infecciosas, a optimizar el comportamiento de centrales térmicas, a la detección de defectos en cadenas de producción, al reconocimiento de objetos, etc., pero que aun así, no pasan de ser meras herramientas de ayuda al servicio de los expertos, cuya presencia sigue siendo necesaria, liberándoles de ciertas tareas tediosas, y no sólo a los expertos sino a personas menos expertas. Ello indudablemente redundará en un enriquecimiento de las personas que pueden dedicar su tiempo a tareas más interesantes y prestar su atención y sabiduría en los casos en que realmente sea necesario. Asimismo confieren una mayor seguridad en el trabajo, lo mismo cuando está como cuando no está presente físicamente un experto, además de ser muy válidos instrumentos en la formación de nuevos expertos, pasando la experiencia de una generación de personas a otras, como ya se ha comentado.

Por otro lado, la capacidad inteligente de estos sistemas está reducida y limitada a ámbitos muy específicos de conocimiento, lo que hace que estén a muchísima distancia de lo que conocemos por inteligencia natural en toda su amplitud.

En definitiva, los SE han de contemplarse hoy día como unas útiles herramientas de ayuda en el trabajo como pudiera ser cualquier otro instrumento tecnológico de los que el hombre se vale en su vida diaria para aumentar su grado de bienestar.