

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**Fundamentos, práctica y
aplicaciones**

Alberto García Serrano



ÍNDICE

PREFACIO.....	VII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	1
¿QUÉ ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?	1
PERSPECTIVA HISTÓRICA	5
PRESENTE Y FUTURO	7
CAPÍTULO 2. IA Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	9
RESOLVER PROBLEMAS	9
<i>Otros problemas más complejos.....</i>	<i>11</i>
ALGUNOS TIPOS DE PROBLEMAS	15
<i>El problema del viajante de comercio.....</i>	<i>15</i>
<i>El problema de la satisfacibilidad booleana</i>	<i>19</i>
<i>El problema de la programación lineal entera.....</i>	<i>23</i>
<i>Otros problemas</i>	<i>26</i>
CAPÍTULO 3. BÚSQUEDA NO INFORMADA	29
BÚSQUEDA	29
<i>Representación de estados: árboles y grafos.....</i>	<i>31</i>
BÚSQUEDA EN AMPLITUD.....	34
BÚSQUEDA EN PROFUNDIDAD	45
BÚSQUEDA DE COSTE UNIFORME	56
CAPÍTULO 4. BÚSQUEDA INFORMADA	65
FUNCIÓN HEURÍSTICA	65

BÚSQUEDA CON VUELTA ATRÁS (BACKTRACKING)	69
ALGORITMO A*	73
BÚSQUEDA LOCAL	83
<i>Algoritmos constructivos voraces</i>	86
El algoritmo de Dijkstra	88
Algoritmo de Clarke y Wright.....	94
<i>Hill climbing</i>	102
<i>Simulated annealing</i>	111
<i>Búsqueda tabú</i>	117
<i>Algoritmos genéticos</i>	126
CAPÍTULO 5. JUEGOS	141
INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y JUEGOS	141
<i>El algoritmo minimax</i>	143
<i>Poda alfa-beta</i>	155
<i>Otros tipos de juegos</i>	165
CAPÍTULO 6. RAZONAMIENTO.....	171
INTRODUCCIÓN	171
SISTEMAS EXPERTOS	172
SISTEMAS DIFUSOS	176
<i>Conjuntos difusos</i>	177
<i>Inferencia difusa</i>	183
CAPÍTULO 7. APRENDIZAJE	193
INTRODUCCIÓN	193
CLASIFICACIÓN PROBABILÍSTICA	194
<i>Un poco de probabilidad</i>	194
<i>Clasificación bayesiana ingenua</i>	200
REDES NEURONALES ARTIFICIALES	208
<i>El perceptrón simple</i>	210
<i>Redes neuronales multicapa</i>	220
<i>Red de Hopfield</i>	233
APÉNDICE. EL LENGUAJE PYTHON	243
INTRODUCCIÓN	243
<i>El intérprete interactivo</i>	244
<i>El primer programa</i>	245
<i>Cadenas de caracteres</i>	250
<i>Estructuras de control</i>	255
<i>Secuencias</i>	263
<i>Funciones</i>	270
<i>Clases y objetos</i>	274
<i>Módulos</i>	280
<i>Paquetes</i>	280
ÍNDICE ALFABÉTICO.....	283

Prefacio

La Inteligencia Artificial (o simplemente IA) es quizás unas de las disciplinas que más despiertan la imaginación de los que oyen hablar de ella por primera vez. Tal vez debido a que la ciencia ficción se ha encargado de crear ese halo de misterio que la envuelve y que nos invita a soñar con máquinas capaces de razonar, como el maravilloso HAL 9000 (*Heuristically Programmed Algorithmic Computer*) imaginado por Kubrick o incluso a sentir, como los replicantes de *Blade Runner*.

Si bien es cierto que las expectativas iniciales pueden hacer que alguien se decepcione con el estado del arte actual de la IA, no lo es menos que en las últimas décadas ha habido nuevos avances y se ha reactivado el interés por investigar en este campo. Sin duda, el auge de Internet y la necesidad de aplicar cierta “inteligencia” para poder manejar cantidades ingentes de información, como es el caso de buscadores como Google, han sido un buen catalizador.

Aunque a veces no sea demasiado evidente, la Inteligencia Artificial está presente cada vez más en nuestro día a día, ayudándonos casi sin darnos cuenta de ello. Cada vez que usamos una cámara fotográfica, un algoritmo de IA está identificando las caras de la imagen y enfocándolas. Algunas incluso reconocen que la persona ha sonreído para hacer el disparo. Tampoco es extraño ver cómo es posible controlar algunas funciones de nuestro vehículo o de nuestro teléfono móvil hablándoles directamente. Un complejo algoritmo de reconocimiento de voz está detrás de toda esta tecnología para facilitarnos la vida diaria.

No es probable que en pocos años veamos robots como R2D2 ayudándonos en casa, pero sí que podemos soñar con que no está lejos el día en que los vehículos nos

llevarán solos a nuestro destino, evitando las numerosas muertes que hoy provoca el tráfico por carretera. Tampoco es ninguna locura pensar que en pocos años dispondremos de asistentes personales para personas con movilidad reducida.

En definitiva, pocas áreas de la ciencia y la ingeniería invitan a imaginar el futuro tanto como la IA, y lo mejor de todo es que es ahora cuando se está inventando (y a veces reinventando) esta nueva ciencia, por lo que invito al lector a subirse a este tren cuyo destino es desconocido, pero sin duda apasionante.

Sobre este libro

Existe multitud de literatura en torno a la Inteligencia Artificial, la hay variada y a veces muy buena, sin embargo, la mayoría de los libros que tratan el tema son extremadamente teóricos. El nivel exigido para seguirlos y entenderlos suele ser muy alto. Además, casi toda la información se encuentra en inglés. Desde el primer momento, este libro ha sido concebido como un texto de introducción a la IA, pero desde una perspectiva práctica. No tiene sentido conocer toda la teoría que hay tras las redes neuronales si no somos capaces de hacer uso de todo ese conocimiento para aplicarlo en un problema concreto.

Con ese espíritu, se han implementado casi todos los algoritmos descritos en el libro y cuando no se ha hecho ha sido porque el código hubiera sido demasiado largo, en cuyo caso se ha mostrado paso a paso su funcionamiento con ejemplos. Se decidió usar el lenguaje Python en los ejemplos debido a su gran sencillez para ser leído, y por su gran expresividad, que hace que los programas sean más cortos ahorrando bastante espacio. Con la idea de que este libro sea lo más autocontenido posible, se ha añadido un apéndice con una introducción al lenguaje Python para facilitar la comprensión de los ejemplos.

A diferencia de otros libros sobre IA, se ha tratado de dejar las matemáticas reducidas a la mínima expresión; sin embargo, en una materia como esta no siempre es posible (ni conveniente) eliminarlas completamente. La dificultad no está más allá de un nivel de bachillerato, y en todo caso, muchas de las fórmulas y explicaciones matemáticas pueden obviarse sin peligro de no entender los algoritmos presentados. Siempre que ha sido necesario se ha hecho un breve repaso de las matemáticas involucradas, como es el caso del capítulo 7, donde se hace un breve repaso a la Probabilidad, necesaria para entender los clasificadores bayesianos.

El libro se ha dividido en siete capítulos que reúnen una serie de técnicas y algoritmos usados en IA. En el primer capítulo se hace una introducción a la IA para situarla en un contexto histórico y entender qué es y cómo se ha llegado a la

situación actual. En el segundo se presenta el enfoque que seguiremos durante el resto del libro, definiendo qué es un problema en IA y cómo los podemos representar para que un ordenador pueda resolverlos.

En el tercer capítulo se introducen las técnicas clásicas de búsqueda para, seguidamente en el cuarto, introducir las técnicas heurísticas y de búsqueda local más utilizadas, desde las más clásicas a las más modernas, como los algoritmos genéticos.

El capítulo quinto se centra en los juegos de ordenador y los algoritmos que permiten hacer que las máquinas jueguen a juegos como el *ajedrez* o las *damas*. En el sexto se hace una introducción al razonamiento mediante sistemas expertos y la lógica difusa. Y finalmente, el séptimo capítulo se dedica a las técnicas de aprendizaje, en concreto se introducen los métodos probabilísticos como los clasificadores bayesianos. También se hace una introducción a las redes neuronales y su implementación práctica.

Sobre el autor

El autor se inició en el mundo de la informática a una temprana edad cuando comenzó a “jugar” con el BASIC del Commodore 64. Desde entonces se ha dedicado al mundo de la informática y al desarrollo de aplicaciones.

Alberto García Serrano es Ingeniero Técnico en Informática y autor de varios libros sobre informática y programación. Durante años impartió clases como docente en numerosos cursos y másteres sobre tecnología, informática y programación. Ha desarrollado la mayor parte de su trabajo en el área de la consultoría y el I+D, lo que le ha brindado la oportunidad de involucrarse en proyectos muy novedosos para grandes empresas de este país, desarrollando y poniendo en práctica parte de los conocimientos en IA que se recogen en este libro. Además de su labor profesional, escribe el blog <http://divertimentosinformaticos.blogspot.com> y su página personal es <http://www.agserrano.com>.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi mujer Carmen su paciencia y su apoyo mientras escribía este libro por ayudarme con la lectura y correcciones del texto. También a mi hijo Diego por el tiempo que no he podido dedicarle mientras tecleaba estas páginas, pero que espero recuperar lo antes posible.

1 Introducción a la Inteligencia Artificial

¿QUÉ ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

Por extraño que pueda parecer, lo cierto es que no hay un consenso entre los científicos e ingenieros sobre lo que es la Inteligencia Artificial, y mucho menos se ha llegado a una definición exacta y concisa que nos permita dirimir qué programas son o no inteligentes. El problema es que ni siquiera tenemos la certeza de que seamos capaces de definir qué es la inteligencia (no artificial).

Se dice que los humanos son una especie inteligente: saben hablar, resuelven problemas matemáticos, han llegado a la Luna... pero ¿acaso no son inteligentes el resto de animales que habitan el planeta? En efecto, un perro muestra comportamientos inteligentes e incluso es capaz de expresar sentimientos. ¿Dónde poner el límite de lo que es o no inteligente entonces?

El primer intento de definir la Inteligencia Artificial lo hizo el matemático Alan Turing, que es considerado como el padre de la computación. Este científico inglés es más conocido por su máquina de Turing: una máquina conceptual que utilizó para formalizar los conceptos del modelo computacional que seguimos utilizando hoy día. En concreto demostró que con las operaciones básicas que podía desarrollar su máquina podía codificarse cualquier algoritmo, y que toda máquina capaz de computar tendría las mismas operaciones básicas que su máquina o un superconjunto de estas.

En 1950 Turing publicó un artículo llamado *Computing machinery and intelligence* donde argumentaba que si una máquina puede actuar como un humano, entonces podremos decir que es inteligente. En el artículo proponía una prueba, llamada Test de Turing, que permitiría afirmar si una máquina es o no inteligente. Para llegar a esa conclusión, un ser humano se comunicaría a través de un terminal informático con una entidad que se hallaría en una habitación contigua. Esta entidad podría ser un humano o una máquina inteligente. Si tras una conversación la persona no es capaz de distinguir si lo que hay en la otra habitación es un humano o una máquina, entonces, en caso de ser una máquina, la podemos considerar inteligente.

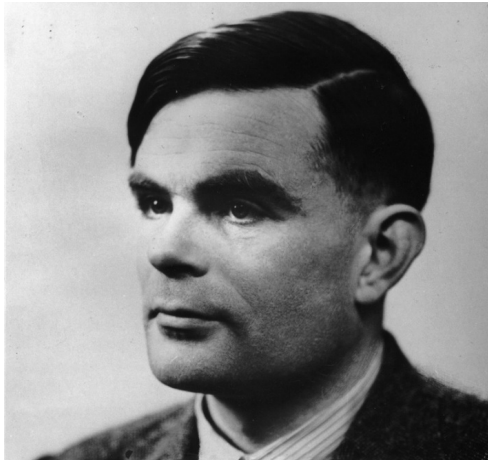


Fig. 1-1 Retrato de Alan Turing.

El Test de Turing, pese a los años que han pasado, tiene una gran importancia, ya que exige una serie de capacidades a la máquina inteligente cuyo conjunto conforma, a grandes rasgos, lo que es la Inteligencia Artificial hoy día. En efecto, una máquina que sea capaz de pasar el Test de Turing ha de tener las siguientes capacidades.

- Reconocimiento del lenguaje natural.
- Razonamiento.
- Aprendizaje.
- Representación del conocimiento.

Además, existe una prueba llamada Test de Turing Total en la que la terminal informática que permite la comunicación dispone de cámara de vídeo e imagen, por

lo que la comunicación se produce como si fuera una videoconferencia. También se permite el paso de objetos a través de una compuerta. Para pasar esta prueba, una máquina ha de tener dos capacidades adicionales.

- Visión.
- Robótica.

Efectivamente, la máquina tiene que ser capaz de reconocer el lenguaje natural en el que hablamos los humanos. El habla se asocia a una inteligencia superior, y para que una máquina sea capaz de reconocerla y también de construir frases tiene que ser capaz de realizar complejos análisis morfológicos, sintácticos, semánticos y contextuales de la información que recibe y de las frases que genera. En la actualidad, el **procesamiento del lenguaje natural** o **NLP** (*Natural Language Processing*) es una rama de la Inteligencia Artificial que se ocupa de las capacidades de comunicación de los ordenadores con los humanos utilizando su propio lenguaje. Es un área cuyas aplicaciones son múltiples y variadas, como la traducción automática o el reconocimiento y comprensión del lenguaje humano entre otros.

La prueba propuesta por Turing exige también una capacidad de **razonamiento automático**. Los humanos somos capaces de llegar a conclusiones a partir de una serie de premisas. Por ejemplo, un humano puede ser capaz de llegar a la conclusión de que si está lloviendo, el suelo estará mojado y en consecuencia es muy probable que esté resbaladizo. Un primer intento de conseguir que las máquinas razonaran fue llevado a la práctica mediante los llamados sistemas expertos. Estos tratan de llegar a conclusiones lógicas a partir de hechos o premisas introducidas a priori en el sistema. Actualmente, se utilizan otras técnicas más versátiles como las redes probabilísticas, que permiten hacer predicciones y llegar a conclusiones incluso cuando hay cierto nivel de incertidumbre en las premisas.

El **aprendizaje automático** es también condición necesaria para que un ente artificial pueda ser considerado inteligente. Si una máquina no es capaz de aprender cosas nuevas, difícilmente será capaz de adaptarse al medio, condición exigible a cualquier ser dotado de inteligencia. En Inteligencia Artificial, las líneas de investigación actuales buscan hacer que las máquinas sean capaces de hacer generalizaciones a partir de ejemplos sacados del entorno. Por ejemplo, un niño aprende desde edad muy temprana que si se cae al suelo puede hacerse daño, y para llegar a esta generalización, primero tiene que caerse varias veces (es lo que consideramos ejemplos en IA). Actualmente, se utilizan técnicas basadas en redes y métodos probabilísticos como las redes bayesianas o de Markov y también se trata de simular el funcionamiento del cerebro humano a través de las redes neuronales.

Evidentemente, para tener capacidad de razonamiento y aprendizaje, la computadora ha de ser capaz de almacenar y recuperar de forma eficiente la información que va obteniendo o infiriendo autónomamente, es decir, necesita mecanismos de **representación del conocimiento**. Por sí sola, esta es una rama de la Inteligencia Artificial que investiga las técnicas de almacenamiento de información de forma que sea fácilmente accesible y, sobre todo, utilizable por los sistemas inteligentes. De nada sirve almacenar datos si luego los sistemas no pueden acceder a ellos de forma que sean capaces de usarlos para sacar conclusiones u obtener nueva información que no poseían de forma directa.

Para pasar el Test de Turing Total, la máquina tiene que tener capacidades de **visión artificial** y de manipulación de objetos, lo que en Inteligencia Artificial se denomina **robótica**. A través de una cámara, un ordenador puede ver el mundo que le rodea, pero una cosa es obtener imágenes y otra entenderlo. Un humano puede ser capaz de leer un texto separando las letras, palabras y frases que lo componen y atribuyéndoles un significado. La visión artificial busca que los sistemas inteligentes sean capaces de interpretar el entorno que les rodea a partir de imágenes.

Por otro lado, la capacidad de manipular objetos debe hacer uso de la visión artificial (o, alternativamente, otro tipo de sensores) que permitan saber al ordenador dónde está el objeto, qué forma tiene, hacerse una idea del peso del mismo, etc. Además, debe ser capaz de aplicar la presión exacta para no dañar el objeto y saber qué movimientos ha de hacer para trasladarlo a su nuevo destino. Tareas nada sencillas para un ordenador.

Frente a la idea que proponía Turing de que una máquina será inteligente si actúa como un humano, otros investigadores y autores proponen nuevos paradigmas. Uno de ellos afirma que si una máquina piensa como un humano, entonces será inteligente. Otros, sin embargo, defienden la idea de que una máquina será inteligente si piensa o actúa de forma racional.

La afirmación de que una máquina es inteligente si piensa como un humano puede parecer muy similar a la idea que tenía Turing sobre la inteligencia, pero existe una gran diferencia. Comportarse como un humano no significa necesariamente que las máquinas recreen internamente el mismo proceso mental que ocurre en el cerebro humano; sin embargo, pensar como un humano implica que primero debemos saber cómo piensa realmente un humano. Las ciencias cognitivas tratan de descifrar cómo pensamos y cómo procesamos la información que llegan a nuestros sentidos. Lo cierto es que aún estamos lejos de comprender todo el mecanismo cerebral, por lo que este enfoque se antoja complicado. A pesar de ello, con lo que ya

sabemos, es posible mejorar y crear nuevos algoritmos capaces de ampliar las fronteras de la Inteligencia Artificial.

Finalmente, los que proponen el modelo racional, es decir, consideran que una máquina es inteligente si piensa o se comporta racionalmente, basan sus técnicas en la lógica y en el concepto de **agentes**. Según este enfoque, con una gran aceptación en la actualidad, los actos de un agente inteligente deben basarse en el razonamiento y en las conclusiones obtenidas a partir de la información que se posee. Estos agentes tomarán la decisión más conveniente a la vista de esos datos y del tiempo del que disponen: no es lo mismo tomar una decisión disponiendo de toda la información y todo el tiempo necesario que tomarla con información incompleta (incertidumbre) y poco tiempo para procesarla.

Actualmente, las principales líneas de investigación trabajan sobre el concepto de agente inteligente y lo hacen extensivo a grupos de agentes, que pueden tener capacidades diferentes, y que trabajan de forma conjunta colaborando entre ellos para resolver un problema. Son los llamados **sistemas multiagente**.

El autor del presente texto no cree que exista un paradigma definitivo que sea capaz de conseguir el objetivo final de la Inteligencia Artificial, que es construir entidades inteligentes. Si bien, ninguno ha demostrado ser capaz de dotar de inteligencia completa a una máquina, todos han aportado información y técnicas valiosas.

En este libro tomaremos un enfoque mucho más pragmático, tal y como se espera de un texto que pretende ser introductorio y, sobre todo, práctico. Consideraremos la Inteligencia Artificial como un conjunto de técnicas, algoritmos y herramientas que nos permiten resolver problemas para los que, a priori, es necesario cierto grado de inteligencia, en el sentido de que son problemas que suponen un desafío incluso para el cerebro humano.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Cualquier ciencia incipiente hunde sus raíces en otras materias, y en este caso, filósofos como Aristóteles con sus silogismos o el español Ramón Llull que en 1315 ya hablaba de máquinas capaces de razonar como las personas, pusieron los cimientos sobre los que construir esta nueva disciplina.

Situar el principio de la Inteligencia Artificial es bastante complicado; sin embargo, parece haber cierto consenso en que Warren McCulloch y Walter Pitts dieron el pistoletazo de salida a esta joven ciencia en 1943 gracias a sus trabajos en los que propusieron el primer modelo de red neuronal artificial. Era un modelo bastante simple, pero McCulloch y Pitts demostraron que era capaz de aprender y resolver funciones lógicas. Curiosamente, el estudio de las redes neuronales sufrió un buen parón en los años siguientes hasta que a mediados de los 80 se retomó la investigación en este campo gracias a los avances y éxitos que tuvieron diversos grupos usando redes de retropropagación.

Sin embargo, la Inteligencia Artificial como tal no era muy reconocida en ambientes universitarios ni grandes grupos de investigación. Más bien era residual el esfuerzo dedicado en este campo, hasta que en 1950, Alan Turing publicó su artículo *Computing machinery and intelligence*. Años después Turing sería coautor del primer programa capaz de jugar al ajedrez. A partir de ese momento comenzó a consolidarse el interés que iba creciendo junto a los avances que se hacían en el campo de las computadoras.

A pesar de que se considera a Turing como el padre de esta disciplina, el término Inteligencia Artificial fue acuñado en 1958 por John McCarthy, que a la postre inventaría el lenguaje LISP, considerado el lenguaje de la Inteligencia Artificial. McCarthy, con la ayuda de científicos como Minsky, Claude, Shannon o Newell, convocaron una conferencia de dos meses en *Dartmouth College*, donde se reunieron los mejores investigadores en este campo, dando lugar a la era moderna de la IA y a alcanzar el estatus de ciencia a esta disciplina.

Desgraciadamente, el impulso inicial y la euforia que supuso esta conferencia se fueron desinflando poco a poco al constatarse que ninguna de las expectativas puestas en la IA se iba cumpliendo. Algunas máquinas eran capaces de jugar al ajedrez, de resolver problemas fáciles o hacer razonamientos sencillos, pero nada hacía vislumbrar el nacimiento de una máquina pensante. Los trabajos e investigaciones fueron decayendo y, salvo algunos trabajos aislados, como los primeros trabajos con algoritmos genéticos a finales de los 50, pocas universidades invertían tiempo y dinero.

A principio de los 80, los sistemas expertos encendieron de nuevo una pequeña llama de esperanza, sobre todo porque tenían una aplicación directa en la industria. La industria americana invirtió millones de dólares en crear sistemas expertos de todo tipo, pero de nuevo, las expectativas parecían desvanecerse de nuevo, hasta que a mediados de los 80 las redes neuronales resurgieron para dar un nuevo giro de timón a la disciplina.

Ya en los 90, y bien asentada como ciencia y con bastantes líneas de investigación abiertas, nuevos avances como las redes ocultas de Markov, las redes probabilísticas como las redes bayesianas, los agentes inteligentes y otras técnicas novedosas están llevando a la Inteligencia Artificial a un nuevo nivel en el que sus aplicaciones comienzan a estar cada vez más presentes en las vidas cotidianas de las personas.

PRESENTE Y FUTURO

En la actualidad, son muchas las universidades que investigan en este campo, pero cada vez más empresas como Google, gobiernos y otras instituciones invierten grandes cantidades de dinero. Mucha culpa de todo esto la tiene internet, cuya gran cantidad de información facilita el acceso a grandes cantidades de datos analizables y a su vez demanda de nuevas técnicas que permitan manejar tales cantidades de información. Google es un ejemplo claro, cuyo buscador es capaz de ir aprendiendo de los *clicks* de los usuarios para mejorar los resultados de las búsquedas. También usa la gran información que maneja para ofrecernos un traductor muy potente que también aprende.

Otro ejemplo de la utilidad de la IA en Internet es la lucha contra el *spam* o correo basura. En efecto, el uso de clasificadores bayesianos y otras técnicas probabilísticas se muestran muy eficaces contra este problema.

El mercado de consumo tampoco deja escapar el tren y actualmente los teléfonos inteligentes (*smartphones*) comienzan a hacer uso del reconocimiento facial como es el caso de los teléfonos Android o el reconocimiento del habla del que hace uso Apple en su iPhone con su sistema *siri*.

La empresa automovilística también trabaja actualmente en coches autónomos que conducen solos o que son capaces de prever situaciones complicadas y actuar en consecuencia. También están incorporando el reconocimiento del habla, lo que nos permitirá en un futuro no muy lejano hablar con el coche de forma natural.

Los usos militares, aunque la mayoría de las veces permanecen en secreto, son visibles, sobre todo en robótica, donde aviones no tripulados y robots que desactivan minas son solo la punta de iceberg.

En la actualidad, ya nadie pone en duda la supremacía de las máquinas sobre los humanos en juegos como el ajedrez, y miles de empresas utilizan sistemas de planificación para organizar los repartos de mercancías o planificar los procesos industriales. Sin duda, el gran ahorro que suponen compensan las inversiones necesarias.

Podríamos seguir poniendo ejemplos de usos de la IA, pero seguro que es posible encontrar tantos que nos dejaríamos muchos en el tintero. Tampoco es seguro saber qué nos deparará el futuro, ya que esa tarea tiene más que ver con la literatura de ciencia ficción.

Empresas como Numenta exploran nuevos campos y nuevas aproximaciones al desarrollo de sistemas inteligentes. En concreto uno de sus fundadores, Jeff Hawkins, propone un nuevo modelo de máquina inteligente basada en el funcionamiento del neocórtex humano. Si este modelo dará o no sus frutos en un futuro, solo el tiempo lo dirá.