

inteligencia artificial: preguntas y respuestas

e. a. feigenbaum julian feldman

¿Qué es una computadora? ¿Es precisamente una «fábrica de números»?

En la concepción popular, una computadora es un calculador numérico de alta velocidad. Esta idea es solo en parte correcta. Una computadora digital es, de hecho, un dispositivo general procesador de símbolos, capaz de realizar cualquier proceso bien definido de manipulación y transformación de información.

Todas las computadoras digitales de propósito general son básicamente semejantes. Ellas tienen:

- 1 ● Una o más «entradas» (input) para transformar información simbólica externa a la máquina en la forma internamente usable (por la máquina). Estas formas internas son los *símbolos* que la máquina manipula. Un lector de tarjetas punchadas es un ejemplo de un dispositivo de entrada.
- 2 ● Una o más «salidas» (output) para transformar los símbolos internos de nuevo en forma externa. El impresor de la computadora es un ejemplo de un dispositivo de salida.
- 3 ● Uno o más dispositivos de «memoria» capaces de almacenar símbolos antes, durante, y después del proceso.

4 ● Una «unidad aritmética». Una de las posibles interpretaciones que se pueden dar a los símbolos de una computadora es la *númerica*. La unidad aritmética es una pieza de aparejo electrónico que opera sobre estos números para producir (bajo la interpretación numérica) sumas, diferencias, productos, etc.

5 ● Una «unidad de control». La unidad de control es el ejecutivo de la computadora. Está conectada para comprender y obedecer un repertorio de *instrucciones* (u órdenes), llamando a la acción a las otras unidades cuando es necesario. Las instrucciones son generalmente procesos elementales, por ejemplo, ir por un símbolo colocado en un lugar específico de la memoria, regresar un símbolo a algún lugar en la memoria, desviar un símbolo un cierto número de lugares a la izquierda o a la derecha en una «memoria laborante».

Una instrucción muy importante «control de comparar y transferir» habilita a la computadora para tomar una decisión entre dos selecciones, es decir, a tomar uno de dos cursos de acción especificados de acuerdo con la información hallada en alguna célula de la memoria. Por el cascado de estas simples decisiones, decisiones altamente complejas pueden ser logradas.

Procesos de información más complicados que aquellos que están «sellados» en la computadora pueden llevarse a cabo por medio de una sucesión de instrucciones elementales llamada *programa*. El programa es el enunciado preciso del procesamiento de la información que el usador desea que la máquina realice. El programa de una computadora se almacena en la memoria junto con el resto de la información sobre el problema y los datos de este. Una parte de un programa puede indicar el traslado de otra parte del mismo de la memoria a la unidad aritmética y alterarla. La computadora digital de propósito general puede hacer cualquier tarea de procesamiento de información que pueda escribirse en forma de programa. La misma computadora que en un momento esté computando la nómina de pago de una compañía, puede estar computando en el siguiente momento un diseño aéreo o una prima de seguro. Cualquier programa para una computadora de propósito general la convierte de una máquina de propósito general en una máquina de propósito especial para realizar la tarea sugerida por el usador que escribió el programa.

¿Es posible pensar para las máquinas computadoras?

No —si se define el pensamiento como una actividad peculiar y exclusivamente *humana*. Tal tipo de conducta en las máquinas, tendría que ser llamada por eso conducta análoga a la pensante.

No —si se postula que existe algo en la esencia del pensamiento que es *inescrutable, misterioso, místico*.

Si —si se admite que el problema ha de ser resuelto por *experimento y observación*, comparando la conducta de la computadora, con la conducta de los seres humanos a los que el término «pensante» se aplica generalmente.

Consideramos las dos perspectivas negativas como acientíficamente dogmáticas... Armer... califica la perspectiva positiva señalando que existe un continuo de conducta inteligente y que el problema de cuan lejos podemos ir con las máquinas a lo largo de ese continuo ha de ser resuelto por investigación, no por dogma. Podríamos añadir una cualificación más: afirmar que las máquinas pensantes son posibles no es afirmar necesariamente que ya existen máquinas pensantes con las capacidades humanas (o que existirán en un futuro cercano).

¿Cuál es entonces el objetivo en la investigación sobre la inteligencia artificial? Tal como nosotros interpretamos esta área es este: *contruir programa de computadoras que la hagan exhibir una conducta que llamamos «conducta inteligente» cuando la observamos en los seres humanos.*

Pero, ¿acaso una computadora no hace sino exactamente lo que se le dice que haga y nada más?

Comentando esta pregunta familiar, un investigador bien conocido en este campo tenía esto que decir:

Este enunciado —que las computadoras pueden hacer solamente lo que se les programa que hagan— es intuitivamente obvio, indubitavelmente verdadero, y no apoya ninguna de las implicaciones que comunmente se extraen de él.

*Un ser humano puede pensar, aprender y crear porque el programa que su dotación biológica le da, junto con los cambios en ese programa producidos por la interacción con su medio después de su nacimiento, lo capacitan para pensar, aprender y crear. Si una computadora piensa, aprende y crea, será en virtud de un programa que la dota de estas capacidades. Claro que éste no será un programa —más de lo que lo es el de los seres humanos— que exija una conducta altamente estereotipada y repetitiva, independientemente de los estímulos que lleguen del medio y latereas a completar. Será un programa que hará la conducta del sistema en sumo grado condicional a las circunstancias de la tarea —a los objetivos de la tarea y a los indicios extraídos del medio que indican si se realizan progresos hacia estos objetivos. Será un programa que analiza, por algunos medios, su propia ejecución, diagnostica sus fracasos, y realiza cambios que mejoren su futura efectividad. (Simon, H. A. *The New Science of Management Decision*, New York: Harper & Row, 1960, p. 25).*

¿Es verdad que una computadora podrá ser campeón de ajedrez, dado que la computadora es tan rápida que puede examinar todos los movimientos posibles y sus consecuencias?

Esta concepción del potencial de solución de problemas de las computadoras descansa en la *suposición* de que las computadoras siendo tan rápidas, pueden «pensar en todo». Esta forma de computar podría ser llamada computación por «fuerza bruta». Los programas de «fuerza bruta» tienen generalmente una estructura simple, que emplea una enumeración exhaustiva de posibilidades y una exhaustiva investigación. ¿Es la computación por «fuerza bruta» un método general para manejar problemas que usualmente se considera que tienen un «contenido intelectual»?

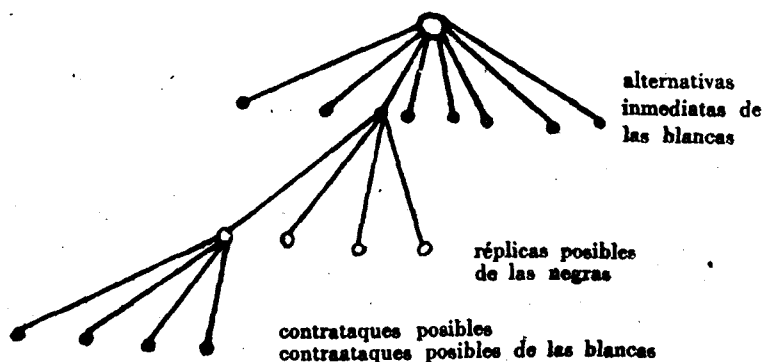
Para responder esta pregunta, tenemos que mirar primeramente que cosa es un problema. Un problema existe para un solucionador de problemas cuando este se enfrenta a la tarea de seleccionar una de un conjunto de alternativas colocadas frente a él por el medio ambiente que rodea al problema. El solucionador de problemas no tiene problemas si el medio ambiente se le presenta con una sola alternativa; él tiene obligatoriamente que tomarla. Lo que es problemático en las alternativas no es tanto su número como sus consecuencias. Las alternativas tienen regularmente consecuencias elaboradas, que necesitan ser evaluadas, antes de que una de ellas sea seleccionada. La expresión formal de esta noción nos lleva al llamado *modelo de laberinto de un problema*. Veamos un ejemplo.

Consideremos el problema de seleccionar un movimiento en algún momento en un juego de ajedrez. Si la posición le permite al jugador una sola alternativa, no hay problemas —el movimiento es *forzado*.— Pero si realmente hay un problema genuino la decisión puede ser hecha examinando las consecuencias inmediatas y remotas de seleccionar alternativas particulares —los movimientos abiertos al oponente, las réplicas posibles a estos movimientos, etc. Este «árbol de posibilidades» está representado en la figura No. 1.

En principio este árbol puede ser completamente elaborado; los puntos finales pueden ser identificados como ganancias, pérdidas o tablas; y una estrategia puede ser empleada para determinar la mejor alternativa posible en la punta del árbol.

Dado que el procedimiento puede ser programado en principio en modernas computadoras de alta velocidad, ¿por qué entonces el ajedrez sigue siendo un juego tan interesante? ¿Por qué entonces las computadoras no son campeones invencibles en el ajedrez?

La respuesta es simple: el tamaño del laberinto de ajedrez es enorme. Ha sido estimado que hay aproximadamente 10^{120} pasos diferentes a través de un laberinto completo de ajedrez (dar o tomar, quizás muchas potencias de a 10). Aún dentro de las más generosas suposiciones sobre la potencia de la moderna maquinaria de computación, ahora o en el futuro, se presenta más allá de los límites de la plausibilidad el que una computadora llegue a ser capaz de jugar «óptimamente» ajedrez por la estrategia exhaustiva mencionada arriba.



La computación por fuerza bruta de problemas de laberinto (cualesquiera exceptuando los más triviales) no servirá.

La solución de problemas por este método está más allá del dominio de la posibilidad práctica.

¿Entonces, cómo tenemos que construir un solucionador de problemas inteligente?

Parece que la clave para una conducta inteligente, tanto para hombres como para máquinas, es una *búsqueda altamente selectiva*, habiendo sido explorada la poda drástica del árbol de las posibilidades. Para que un programa de computadora se comporte inteligentemente, debe buscar en laberintos de problemas de un modo altamente selectivo, explorando pasos relativamente fértiles con soluciones e ignorando pasos relativamente estériles.

¿Qué cosa es un programa heurístico?

Una heurística (una regla heurística, un método heurístico) es un cálculo a ojos vistas, una estrategia, una treta, una simplificación o cualquier otro tipo de recurso que limita drásticamente la búsqueda de soluciones en gran-

des conjuntos de problemas. La heurística no garantiza soluciones óptimas; de hecho no se garantiza ninguna solución en general; lo más que se puede decir sobre una heurística útil es que ofrece soluciones que son suficientemente buenas la mayoría del tiempo. Un *programa heurístico* es un programa que emplea la heurística para solucionar problemas complejos.

Los métodos heurísticos han sido contrapuestos a los métodos algorítmicos para encontrar soluciones de problemas, y una cierta cantidad de «sangre intelectual» ha sido derramada innecesariamente en este campo de batalla.

Sin entrar en las sutilidades de esta discusión, observaremos que el término «algoritmo» es usado con bastante ambigüedad en matemática y lógica. Bajo una definición bastante sostenida, los algoritmos son procedimientos de decisiones que se encuentran garantizados para producir la solución buscada, dando bastante tiempo.

El programa de fuerza bruta descrito arriba para jugar ajedrez es un algoritmo. Pero los algoritmos (bajo este concepto) son conocidos o prácticos, sólo para un subconjunto muy pequeño de todos los problemas interesantes que uno quisiera ver resueltos mediante las computadoras. Sobre el espectro de la clase más amplia, los métodos heurísticos parecen ofrecer una aplicabilidad más general.

La ganancia en usar la heurística consiste en reducir grandemente la búsqueda y por lo tanto, la practicabilidad. Muy frecuentemente pero no siempre, se paga un precio: por limitaciones drásticas de búsqueda algunas veces la mejor solución (en realidad *cualquiera o todas las soluciones*) puede ser pasada por alto.

La heurística llega al menos en dos variedades: de propósito especial y de propósito general. Examinémoslos por medio de estos ejemplos:

1 ● El jugador barato de ajedrez puede usar típicamente esta medida de juego: cesar de explorar cualquier secuencia que pone a la reina en peligro inmediato de ser capturada. Este sería un propósito especial de la heurística sobre ajedrez. Será conveniente para el jugador barato porque lo mantiene alejado de un tipo de problema. Usando este especialmente crudo proyecto de búsqueda limitante, el jugador barato nunca descubrirá esas combinaciones excitantes de sacrificio de la reina, las cuales consiguen «¡!» reseñas en los libros de ajedrez.

2 ● Probando teoremas, un matemático trabaja regularmente en forma retrospectiva del teorema que él está tratando de probar a teoremas o axiomas conocidos, en vez de partir de expresiones conocidas hacia adelante.

usando las reglas de inferencia, hasta que cae en el teorema que tiene que probar. Bajo ciertas condiciones, «trabajar retrospectivamente» es una poderosa heurística general para utilizar información anterior en el problema que guíe la búsqueda de su solución.

3 ● Una útil medida de aproximación usada por los seres humanos en la mayoría de sus soluciones de problemas es esta: atacar un problema nuevo con métodos que han solucionado problemas similares en el pasado. Los criterios de «similitud» pueden ser ellos mismos heurísticos. Si el medio ambiente está en un cierto estado de invariabilidad con respecto a tipos de problemas, esta heurística puede ser muy útil. En medios ambientes que demandan un alto grado de innovación en la solución de problemas, este criterio heurístico impide más que facilita la solución de problemas.

4 ● Dos métodos de solución de problemas heurísticos de propósito general empleados comúnmente en el razonamiento humano son «análisis de medios-fines» y «planeamiento».

En el análisis de medios-fines un estado de problema inicial es transformado en un estado final seleccionando y aplicando operaciones las cuales, paso a paso, reducen la diferencia entre ambos estados. En el método de planeamiento, se construye un estado simplificado del problema original y se aplica el análisis de medios-fines a este problema nuevo más simple. El resultado es un conjunto de planes (conjeturas sobre secuencias posibles de un operador), con esperanza de que uno de ellos servirá, esto es, resolverá el problema original.

¿Qué cosas son algunos problemas no resueltos de la investigación de la inteligencia artificial?

En un área tan nueva y exploratoria la mayoría de los problemas se mantienen sin resolver, en realidad sin haber sido atacados. En este estadio, no es fácil identificar y enunciar los problemas, excepto en un sentido muy general. Ofrecemos algunos ejemplos que pensamos están maduros para atacar:

1 ● *El aprendizaje de heurística.* Una cuestión enigmática, fascinante y extremadamente importante es ésta: ¿Cómo pueden las computadoras (y así la gente) aprender métodos y reglas heurísticas nuevas, tanto para propósitos especiales como generales? En este momento nuestro conocimiento de los mecanismos de aprendizaje para programas de solución de problemas es rudimentario. Cualquiera vencimiento de dificultad en esta área

nos ofrecerá la promesa de conseguir «estirar» nuestro camino en programas de solución de problemas mucho más poderosos.

2 ● *Inferencia Inductiva*. Por lo general la inteligencia artificial es fuerte en inferencia deductiva, débil en inferencia inductiva, sin embargo en la olla de bullir de la inteligencia diaria, la inducción es ciertamente el ingrediente más significativo. Una forma de ver el problema es que nosotros necesitamos programas que inducirán en algún sentido «modelos» internamente almacenados de ambientes externos —modelos a partir de los cuales los programas pueden realizar producciones válidas y útiles sobre estados ambientales futuros. Mirando en otro sentido, este es el problema de formación de hipótesis por máquinas. Se trata del problema general de reconocimiento de estructuras. Hoy sabemos muy poco acerca de este problema decisivo.

3 ● *Comprensión del lenguaje natural*. Un problema de gran interés, teórico y práctico, es el de la construcción de un programa para comprender la comunicación en el lenguaje natural (la palabra «comprender» está utilizada con una connotación totalmente humana). Para que sea más simple: uno quisiera estar capacitado para entablar un diálogo con una computadora —un diálogo en el cual la computadora sostendrá su parte en la conversación adaptativamente, inteligentemente, con comprensión. La investigación en programas de preguntas y respuestas es un buen principio. Hay muchas cosas que pueden ser transferidas de la investigación sobre traducción mecánica, la recuperación de información, los modelos de la memoria asociativa humana y así como de otras áreas de la ciencia de la información. El problema está maduro para un intensivo estudio interdisciplinario.

¿Cuáles son los límites de la investigación sobre inteligencia artificial?

Nadie puede responder esta pregunta hoy. Quizás la cuestión tiene más de fascinación que de importancia. En términos del continuo de inteligencia sugerido por Armer, los programas de computadoras que nosotros hemos podido construir están aún en el extremo inferior. Lo que es importante es que nosotros continuemos lanzándonos en dirección a los postes indicadores del área de las capacidades de la inteligencia humana. ¿Hay alguna razón para suponer que nunca llegaremos hasta esos puntos? ¡Ninguna! Ni una sola evidencia o argumento lógico, ninguna prueba o teorema ha sido nunca presentado que demuestre algún obstáculo insalvable a lo largo del continuo.

Hoy, a pesar de nuestra ignorancia, podemos señalar hacia el poste biológico, el cerebro pensante, con el mismo espíritu con que los científicos muchos cientos de años antes señalaron hacia el pájaro como una demostración en la naturaleza de que los mecanismos más pesados que el aire podrían volar. 29

Traducción de Clotilde Sánchez
y Luciano García

