

LUIS PUELLES

Catedrático (Univ. de Murcia)

JOSÉ SÁNCHEZ CÁNOVAS

Catedrático (Univ. de València)

PEDRO ALBERTOS

Catedrático (Univ. Politécnica de Valencia)

INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
E  
INTELIGENCIA HUMANA



# INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UNA VISIÓN NEUROBIOLÓGICA

**Luis Puelles**

Catedrático de Neuroanatomía, Universidad de Murcia.  
Investigador Asociado del Instituto de Neurociencias de Alicante

**L**A neurobiología se ocupa del estudio del sistema nervioso de los seres vivos. Estos originan entre otras las pautas de comportamiento animal que identificamos en el lenguaje corriente como demostrativas de “inteligencia natural”, ya sea animal o humana. Mi contribución dentro de un ciclo dirigido a la “inteligencia artificial” puede verse como si partiese desde una perspectiva distante; sin embargo, ya que la inteligencia artificial pretende imitar algunos aspectos de la función natural, puede ser interesante esbozar ciertos fundamentos neurobiológicos en torno a la idea de inteligencia, que servirán quizá como elementos de referencia comparativa.

Mi planteamiento parte de un fundamento filosófico monista, el cual creo que es compartido en general por la colectividad científica que discute este tema. Asumo que todas las propiedades funcionales de la actividad cerebral humana o de los animales deben poder ser reducibles causalmente a fenómenos de niveles inferiores de organización del mundo natural, aunque sólo sea de forma general. Los fenómenos mentales deben ser reducidos a tipos complejos de funciones celulares nerviosas. Éstas a su vez deben poder ser explicables en términos de los microfenómenos moleculares y atómicos, y por tanto, en base a la realidad última del sustrato de materia y energía del Universo del que formamos parte (el Monismo es opuesto al Dualismo, que acepta la existencia de otros elementos causales “inmateriales”, ajenos a la Materia / Energía).

En ese sentido, se pueden considerar las funciones mentales superiores, y una de ellas sería la Inteligencia, como propiedades emergentes, que surgen una vez que se da un cierto grado de complejidad funcional; habitualmente se considera que la inteligencia está restringida a los cerebros más evolucionados y en particular se relacionaría con el incremento cuantitativo de ciertas estructuras dentro de esos cerebros. De la misma manera que la Vida (otro fenómeno sorprendente, variopinto y muy complejo) ha llegado ya a ser entendida a través de la biología molecular en su general conexión con estratos más sim-

ples de la materia, la Mente, o las funciones mentales, tales como el pensamiento, la emoción estética, el aprendizaje, la inteligencia y la fantasía humanas posiblemente lleguen a tener un día una interpretación reductiva general. Es cierto, sin embargo, que todavía presentan muchos aspectos oscuros que no permiten una interpretación completa o exacta.

Yo intentaré una definición muy personal y probablemente imperfecta, pero que puede ser una herramienta de trabajo para comenzar a hablar del tema. Evitando la escurridiza y abstracta idea de “inteligencia”, me concentraré en qué es lo que hay que entender como un acto inteligente, a diferencia de un acto banal humano cualquiera. Propongo que tal acto inteligente implica *la resolución creativa de un problema*. Consideramos inteligente a la persona capaz de aportar con frecuencia soluciones a los problemas; nos parece más inteligente si estas soluciones parecen nuevas, sorprendentes por ser inesperadas. Evidentemente, tal definición práctica de inteligencia puede ser muy discutible para otros colegas. Quizá debería añadirse además la facultad de *identificar la existencia de problemas* que no son obvios. Tal definición excluye de la consideración de “inteligente” la capacidad de aplicar la tabla de multiplicar, por poner un ejemplo significativo de cara a la comparación con los ordenadores.

En un acto inteligente humano, considerado de esta manera, se dan tres supuestos mínimos:

1) En primer lugar se parte de una situación de *análisis y conocimiento consciente de unos objetivos*, o sea, debe haber un campo más o menos amplio de preocupación o intención de la persona inteligente, y, dentro de ese campo, suele haber un objetivo concreto (o varios) que podemos llamar *el problema*, la cuestión a tratar inteligentemente. Así, por ejemplo, un médico puede plantearse, dentro del objetivo general de sanar a un paciente, el problema particular de un síntoma resistente al tratamiento.

2) Igualmente debe existir *una motivación*, ya que al acto inteligente precede o acompaña un estado motivacional que implica el deseo, la necesidad, la urgencia de resolver de alguna manera ese problema visualizado. En una actitud más banal podemos perfectamente reconocer la existencia de un problema y no sentir deseos de darle solución –simplemente constatar que existe y ya está. Pero el acto inteligente ha de llegar a la solución del problema. Ello implica acompañar a la selección del problema una motivación propia para lograr un cambio novedoso, tendente a proporcionarnos placer, resolver la cuestión o eliminar un daño presente o potencial.

3) Simultáneamente, no es posible encontrar una solución inteligente a los problemas, si no existe *un modelo general de la realidad de la que formamos parte*, ampliable este concepto todo lo que queramos desde el modelo de nuestro propio cuerpo hasta el modelo del Universo que nos rodea. O sea, para poder detectar la existencia de problemas y para encontrar soluciones nuevas a los problemas que existen (que son infinitos) necesitamos de alguna forma tener un modelo internalizado en nuestro interior, ya sea a nivel consciente o inconsciente, de aquellas regularidades que sabemos que se dan en el mundo y

sobre las cuales nos tenemos que apoyar para poder encontrar nuevas soluciones, conjugando y combinando los datos adecuadamente. El médico del ejemplo anterior no avanzará en su empeño si carece de conocimientos fiables sobre la fisiología y psicología del paciente y sobre las propiedades curativas de los fármacos.

Este modelo del entorno es un modelo multifacético, que no solamente cubre el “tiempo real” (qué es lo que está pasando *ahora* en el Universo a mi alrededor), sino también el pasado (qué es lo que pasó antes) y el futuro (qué sabemos que va a pasar). Estamos contando con datos grabados en la memoria, que nos asisten igualmente para plantear y resolver el acto inteligente en cuestión.

Una vez que tenemos estos tres supuestos: objetivo, motivación y un modelo en el cual trabajar, se realiza potencialmente una operación mental que consiste en el *acto de inteligencia*. Aquí es donde llegamos a nuestro nivel de ignorancia, ya que no sabemos qué es lo que ocurre exactamente. Pero a lo que conduce la operación mental en cuestión es a optimizar nuestro control sobre esa situación problemática que nos interesa modificar. El término “control” es usado aquí en el sentido cibernético definido por Norbert Wiener: cibernética como ciencia general de los mecanismos de control en las máquinas y en los animales.

El acto inteligente consiste en un proceso cibernético de tipo creativo, que genera *una nueva forma de controlar* ciertos fenómenos, que antes no controlábamos perfecta o totalmente. El éxito en esa tarea es lo que caracterizamos admirativamente como acto inteligente. Es obvio que esta definición del acto inteligente se aplica por igual a problemas de naturaleza práctica o a problemas teóricos. Esta definición excluye de la categoría “inteligente” los actos maquinales, automáticos o simplemente repetitivos, así como la aplicación de soluciones aprendidas de otros, a no ser que ello sea en contexto diferente. No pensamos, por ejemplo, que “ir a por tabaco” o “seguir una larga lista de instrucciones” sea indicio de particular inteligencia, aunque haya personas que no lo puedan hacer.

Bien, una vez definido mínimamente de esta forma lo que puede ser un acto inteligente humano, podríamos plantearnos si las máquinas llamadas “inteligentes” hacen eso o hacen otra cosa distinta, desde un punto de vista de capacidad real o teórica. Otros habrán de tratar este punto. A continuación me gustaría tocar brevemente y sin entrar en tecnicismos cuáles son los sistemas neurales que contribuyen a cada uno de estos aspectos que acabo de mencionar.

Me voy a centrar fundamentalmente en la corteza cerebral, aunque debo advertir que la corteza cerebral, con ser el centro por antonomasia de las funciones superiores de nuestra mente, no trabaja sola y necesita del resto de los centros nerviosos para su funcionamiento. Abordaremos primero el tema del modelo interno. Hemos dicho que para poder actuar inteligentemente hace falta haber internalizado en nuestro sistema nervioso un modelo de todo lo que

nos rodea, con proyecciones al pasado y al futuro. Evidentemente, mientras más preciso el modelo, más rico el conjunto de datos y más exactos esos datos (siendo más correctos en cuanto que reproduzcan fielmente la realidad), más útil será ese modelo para poder encontrar soluciones nuevas a los problemas. Protegemos a nuestros niños y ancianos porque los primeros carecen aun de la capacidad intelectual y resolutive permitida por un adecuado modelo, mientras que los segundos la pierden progresivamente.

El modelo se constituye en nuestra corteza cerebral a través de las *áreas sensoriales* (dedicadas al análisis de los datos proporcionados por los múltiples órganos de los “sentidos”), y de las *áreas asociativas* de nuestra corteza (dedicadas a comparar y relacionar unos con otros los millones de diferentes datos de forma muy variada). Incluye esta representación interna varios tipos de modelos que están montados unos dentro de los otros como las muñecas rusas. Existe un modelo de nuestro cuerpo, ya que tenemos canales de información interoceptivos que nos proveen de información directa de cómo están cada una de las partes de nuestro cuerpo. También está el modelo del mundo material, generado a través de los órganos sensoriales exteroceptivos, con diversos canales de información del mundo externo (la vista, el oído, el olfato, etc.). Finalmente, también tenemos un modelo ampliado de la realidad, generado a través del lenguaje y de los simbolismos, el cual nos lleva más allá de nuestra propia experiencia sensorial al mundo abstracto de las ideas, de los conceptos teóricos transmitidos socialmente.

Cuando hablamos del modelo previo en el cual se sitúa el acto inteligente estamos hablando de muchas cosas simultáneamente, y todas ellas se sabe que se plasman, de alguna manera, en la actividad de ciertos subsistemas de la corteza cerebral.

La parte posterior de nuestra corteza está dedicada a recibir canales de información que comienzan en la periferia o en el interior de nuestro cuerpo, en órganos receptores de diverso tipo. Estos interpretan determinadas señales y las transmiten por vías de transmisión muy precisas hacia el interior del sistema nervioso central. Representan de una forma muy exacta los patrones de estímulos que se van recibiendo en las neuronas allí existentes, cuyo subsiguiente estado de activación simboliza ese reflejo de la realidad externa que estamos internalizando. Las características de esta representación son muy diversas y hay tantos aspectos analógicos, donde se modela exactamente el estímulo externo, como aspectos digitales, donde se simboliza de manera numérica la realidad. En definitiva, se plasman los fenómenos reales a nivel interno; literalmente, se obtienen modelos o microimágenes que son muy plásticas, muy variables, pero que son relativamente fieles a la realidad.

La idea de plasticidad que acabo de mencionar es particularmente interesante, porque es la que le quita toda idea de rigidez a este esquema que estoy presentando. La plasticidad implica que los diferentes elementos estructurales del sistema nervioso biológico (luego mencionaré los diversos niveles de complejidad) son variables en sí mismos. Cada uno de ellos no es rígido, no es un

aparato que maquinamente siempre se mueve exactamente de la misma manera. A los elementos neurales siempre les acompañan mecanismos que les permiten modificarse en su función, en su cantidad, en su exactitud de acción, de tal manera que el sistema global puede ir cambiando su estructura interna a lo largo del tiempo y puede irse adaptando cada vez más a la realidad que le rodea, de tal forma que va perfeccionando (y personalizando) progresivamente el modelo concreto que contiene.

Es obvio que nuestro cerebro no nace como un computador que sale ya terminado de la cadena de montaje de la fábrica. Como sistema complejo e hipercomplejo, se va haciendo durante el desarrollo intrauterino y también durante toda nuestra vida postnatal. Según el símil del espejo, nuestro cerebro sería un espejo que nacería imperfecto, incapaz de reflejar fielmente el mundo, pero con una tendencia progresiva a eliminar sus defectos y lograr cada vez un reflejo mejor de la realidad.

El cerebro infantil en particular es un sistema donde prevalecen los mecanismos plásticos. Éstos le permiten aprender cuál es exactamente el mundo que le rodea a medida que se ve expuesto a sus condicionantes (aspectos buenos y malos, posibles e imposibles, etc.); el niño adapta sus mecanismos de entrada, transmisión y asociación de información a las características del mundo externo. Si se sitúa al niño en un medio muy anómalo, acabará teniendo una mente anómala. Esa plasticidad del cerebro biológico es la que va a permitir en definitiva la adaptación y el enriquecimiento cada vez mayor del modelo interno, y que así, insensiblemente, lleguemos a unirnos de alguna manera al mundo externo, reflejando de forma aceptablemente fiel el Universo que nos rodea.

Los mecanismos neurales que proyectan los diferentes canales de información sobre las unidades de computación corticales respectivas, no permanecen separados, sino que se van combinando mediante mecanismos llamados asociativos, de tal manera que las informaciones visuales se combinan con las acústicas, con las táctiles, con las sensaciones internas de nuestro propio cuerpo, para llegar a dar esa sensación conjunta que nosotros llamamos *percepción consciente*. Esta conjunción de todas las informaciones, que es uno de los aspectos esenciales de la modelización, es uno de los procesos mentales que todavía no comprendemos exactamente, esto es, ignoramos cómo llega a culminar una percepción subjetiva única, global de nuestra experiencia.

Volvamos a los niveles de complejidad que he mencionado antes. Hay múltiples niveles de complejidad en un tejido tan complejo como es el cerebro. El nivel de *las partes del cerebro* es el más elemental e inamovible, a pesar de ser ya complejo en sí mismo. Nacemos y morimos con las mismas subdivisiones cerebrales. Este patrón primario es además muy conservativo desde un punto de vista evolutivo, por lo que, a grandes rasgos, todos los animales vertebrados desde los peces hasta el hombre mantienen un mismo modelo estructural (un mismo *diseño*) de cerebro. Lo que varía mayormente con la evolución es el tamaño de los acúmulos neuronales y la diferenciación de las poblaciones

neuronales contenidas en los diversos centros cerebrales. Es por tanto ya en un segundo nivel, de *estructura neuronal*, donde aparecen las peculiaridades de especie y de individuo. Las neuronas son los elementos celulares que sirven de unidad funcional viva más pequeña en el sistema nervioso. Miles de millones de neuronas similares o diferentes se entrelazan formando circuitos de transmisión y computación de señales nerviosas altamente complejos. Al nivel celular o de las neuronas ya podemos obtener regulación a lo largo de la vida de cada persona, porque pueden morir numerosas neuronas (que no pueden ser regeneradas) y disminuir por tanto las neuronas disponibles; asimismo, durante fases tempranas del desarrollo pueden generarse más o menos neuronas dependiendo de la herencia y otros factores ambientales (estado de salud de la madre, por ejemplo).

Las neuronas, a su vez, contactan entre sí de forma muy diversa, generando un tercer nivel estructural de complejidad. Los *contactos interneuronales*, que pueden ser miles de ellos por cada una de las neuronas, a su vez son enormemente variables. Un punto de contacto particular puede ser formado, preservado y perfeccionado, o puede ser eliminado lentamente por resultar ineficaz; precisamente, parte de los mecanismos complejos de modelización, implican ese tipo de ajustes “plásticos”. El paso de ciertas corrientes de información a través de los centros nerviosos quedará obviamente afectado por los ajustes citados.

Finalmente, más allá de los contactos microscópicos entre dos o más neuronas, existe un nivel de complejidad más fino todavía, que se da en cada uno de esos trillones de contactos y en otras partes circundantes de la membrana neuronal: está mediado por los *mecanismos moleculares e iónicos que subyacen a la comunicación intercelular*. Estos mecanismos juegan con la presencia de moléculas que están altamente especializadas en determinadas reacciones químicas. Forman así cadenas de acción-reacción ultrarrápidas que participan, por ejemplo, en la liberación de mensajeros químicos por una de las células y en la recepción de estos mensajeros por los receptores químicos en la otra célula. Estos receptores moleculares adoptan a menudo la forma de canales de membrana que se abren o cierran a una velocidad inimaginable, permitiendo o impidiendo los movimientos de iones simples (con sus respectivas cargas eléctricas positivas o negativas) a su través. Estos vaivenes iónicos alteran el potencial de carga electroquímica de la neurona, pudiendo generar así en ella nuevos mensajes que se transmitirán a otras células. Otros receptores de mensajeros químicos desencadenan diversos sucesos moleculares de tipo trófico en el interior de las neuronas y condicionan los fenómenos de plasticidad a niveles inferiores de complejidad. Esto es, darán lugar a la facilitación de los contactos que coincidentemente han estado activados en el momento previo (quizá reponiendo u optimizando funcionalmente sus moléculas constitutivas) o bien determinarán su atrofia progresiva y eventual eliminación. La muerte neuronal es el resultado masivo sobre la célula de alguno de estos efectos distróficos. En definitiva, los ajustes que se generan al nivel molecular e iónico son mucho más

finos y transitorios, por lo que permiten modificar ligeramente y con gran rapidez todo el engranaje de contactos que median en la transmisión de información en los circuitos neurales. Todo ello ocurre en íntima relación con la “utilidad” funcional y, por tanto, con el reflejo fiel de la Realidad.

Este panorama de la complejidad neural, aunque muy simplificado, permite valorar diferencias en el grado de complejidad y plasticidad (adaptabilidad a las circunstancias) de los mecanismos biológicos con relación a los que se modelan en los mecanismos artificiales. Así, los artilugios más complejos estructuralmente, los “neurocomputadores” basados en las “redes neuronales”, establecen típicamente conexiones de un elemento computacional con varios cientos, o quizá miles, de otros elementos, imitando una red neuronal. Pero en el cerebro las magnitudes y grados de complejidad son muchísimo mayores, por lo que tanto la propia conectividad como la posibilidad de cambio de esas conexiones son de una riqueza inalcanzable por el momento en un mecanismo diseñado por el hombre. Todo ello explica en gran parte la inmensa y multifacética capacidad de modelización o representación interna del Universo, en continua adaptación a las circunstancias y con un contenido altamente abstracto del cerebro humano.

En efecto, esos conjuntos de datos tan complejamente coordinados, mezclados y asociados, se almacenan en gran parte mediante mecanismos que ahora no vamos a tratar, dando lugar a su conservación en forma de memoria. Dichos datos se hallan dispersos en el conjunto de la corteza cerebral, quizá grabados en forma de modificaciones moleculares de los trillones de contactos interneuronales. Quedan a disposición de futuras situaciones funcionales, que puedan precisar la comparación de los datos en tiempo real con los datos del pasado, para establecer si hay diferencias novedosas. En definitiva, se aprovecha en cierta manera la experiencia pasada para el presente.

El criterio para seleccionar qué datos de la realidad son los que pasan a la memoria para uso futuro es esencialmente un criterio de utilidad, o sea, que el cerebro conserva aquello que a priori le parece que tiene significación. Desde un punto de vista amplio, lo que tiene significación para el cerebro animal –y el humano también lo es– es todo aquello que contribuye aparentemente a aumentar la probabilidad de supervivencia del individuo y de la especie. Cuando la supervivencia está garantizada, adquiere significado el placer individual, y, a un nivel más sublimado en el hombre, el bien común. Son nuestros instintos heredados y evolutivamente conservados los que condicionan la forma de funcionar de nuestro cerebro. Por tanto, la selección de datos para la memoria generalmente va reglada por una norma muy simple: se recuerda todo aquello que nos hace daño o nos disgusta, y se recuerda también todo aquello que nos produce placer directa o indirectamente (a través de los demás). Esos dos criterios básicos, bien utilizados por los que inventan técnicas mnemotécnicas punitivas o gratificantes, suelen de una forma aparentemente ciega ir acumulando datos que en gran parte son útiles.

Una vez establecidos algunos conceptos en cuanto a la modelización, con-

viene definir algunas bases neurobiológicas de la selección de objetivos mentales y conductuales a corto, medio y largo plazo. Todo ello, evidentemente, se combina a través de nuestras presunciones sobre los sucesos futuros, derivadas del modelo citado. En la medida en que nuestra corteza cerebral no dispone sólo de áreas sensoriales y asociativas, sino también de *áreas dedicadas al control motor de la conducta* actual o potencial, existe la posibilidad de conseguir que el futuro transcurra por los cauces más positivos para nosotros, orquestando las oportunas acciones de palabra u obra sobre el mundo circundante. Estas áreas corticales se jerarquizan según el ámbito temporal de la acción que computan y están muy interconectadas con las áreas sensoriales y asociativas, de las que derivan la materia prima de sus cálculos (datos actuales o de la memoria).

La corteza “motora” programa al instante los actos inmediatos. Una corteza “premotora” programa secuencias de actos más o menos largos y complejos en previsión de su probable ejecución próxima. Otras áreas llamadas “prefrontales” organizan el posible transcurso de nuestra conducta hacia el futuro distante (a menudo incluso hasta después de la muerte) y contienen naturalmente en forma codificada muchos planes complejos en curso de realización (crear una familia, por ejemplo) y otros en expectativa de poder ser iniciados algún día.

Tales planes a largo plazo incluyen la representación codificada neuralmente de nuestra ética personal, obviamente muy condicionada por las influencias familiares, escolares y sociales en general. Los condicionantes motivacionales de la ética generalmente subordinan la consecución del placer individual a la conservación del bien común. Son notoriamente elásticos en su aplicación individual en correspondencia con las diferencias en el modelo del mundo desarrollado por cada persona. La suma de nuestros planes y de estas limitaciones éticas personales, junto a nuestro modelo del Universo y a nuestro modo de apreciar las vivencias personales (ver más abajo), compone nuestra *personalidad*. Si al despertar por la mañana hubiesen cambiado significativamente estos elementos, no nos reconoceríamos a nosotros mismos.

Tenemos por tanto ubicados en el cerebro el modelo del mundo y nuestra personalidad, lo que engloba nuestros objetivos, desde los más generales, vagos e irrealizables hasta los más concretos y en curso de realización. Precisamos ahora de mecanismos que valoren los infinitos caminos posibles de la realidad y la fantasía y generen la *motivación* necesaria para concentrar nuestra atención y nuestro esfuerzo en un asunto cada vez, cuya secuencia de actos resultantes, ya sean banales o inteligentes, se convierte en nuestra conducta aparente (no hacer nada también es una conducta).

La motivación, por tanto, es el proceso mental que dirige nuestra atención a un problema en particular. Ya mencioné antes, al hablar de la memoria, que generalmente partimos de raíces biológicamente establecidas (instintivas) y bastante primitivas que maximizan el placer y minimizan el daño, ya sea éste personal o de los semejantes. Existe una parte interna de la corteza, denomina-

da *área límbica*, que integra las tendencias de valoración más instintivas con aquellas otras que el individuo formula personalmente (durante la infancia) en base a su experiencia personal y que aun se completan con otras de rango superior, más abstractas, que incorporamos al hacernos “mayores de edad”, más cultos y socialmente más responsables. La cultura (el enriquecimiento del modelo del Universo derivado de la vida en sociedad) complementa y sublima en el hombre los instintos básicos y les da unos contenidos con valor social. Es frecuente que se superponga al bienestar inmediato del individuo los deseos del grupo social en que se halla inmerso, en la medida en que la mayor parte de los planes de futuro significativos para el individuo precisan de la concurrencia y ayuda de otros congéneres. Este aspecto se enriquece a lo largo de la infancia y de la adolescencia con una serie de valores sociales muy importantes que componen la moral, la ética y los proyectos políticos. En general todo ello elabora lo que puede ser la fuente de motivaciones que una persona adulta concibe en un determinado proyecto global de vida, como concreción de sus intereses y decisiones. Naturalmente, tales proyectos se ven a menudo contrastados con las posibilidades reales, obligando al cambio de rumbo o a la resolución de determinados problemas.

Finalmente, volvemos de nuevo al propio objetivo concreto planteado y a la necesidad del acto inteligente. Lo que implica éste es analizar en base a toda nuestra información y en base a nuestros deseos las incertidumbres presentes, recorriendo mentalmente los diversos caminos conocidos que nos llevan aparentemente a situaciones adversas que nos interesa evitar y buscando posibilidades alternativas más satisfactorias. Estando adecuadamente motivado y en ausencia de soluciones fáciles o aprendidas previamente, nuestro cerebro tiende a generar asociaciones más o menos al azar, del tipo: “¿Qué pasaría si esta situación se comportase como aquella otra que se parece en algo, aunque no es exactamente la misma?”. A continuación ensayamos mentalmente los recursos recordados o aprendidos en aquella otra situación, tal como resultarían aplicados a la presente. Los actos de inteligencia más notables son aquellos que establecen conexiones entre conjuntos de datos aparentemente sin ninguna relación, pero que luego resultan ser fecundos en la solución del problema. Ello es posible porque a un cierto nivel de abstracción lógica, ambas situaciones eran casos particulares de un mismo problema, como generalmente demuestra el análisis ulterior. Sin embargo, nuestros cerebros se han limitado a comparar situaciones deseadas y no deseadas con un multifacético modelo de la realidad, buscando al azar, ciegamente, la chispa de inspiración que active las nuevas conexiones lógicas y que dé la solución deseada.

Por tanto, en definitiva, el acto inteligente es una generación de un *nuevo trazo neural*, el cual estaría constituido probablemente por la “resonancia” conjunta de muchos millones de neuronas, en una combinación novedosa que antes no se daba. Es seguro que la sensación de placer que se produce tras el triunfo sobre el problema generará a través de interconexiones entre los sistemas volitivo, motivacional e intelectual cambios permanentes en los contac-

tos entre neuronas dispersas por toda la compleja red cerebral. La nueva solución deberá ser comprobada no sólo en teoría, sino también en la práctica. Puede resultar ser útil en realidad o no, ya que, evidentemente, el éxito nunca está garantizado. Los fenómenos del Universo (y también las personas, que nos suelen preocupar más) son siempre mucho más complejos de lo que nuestros conocimientos nos dicen. Suele ser característica de las personas inteligentes, independientemente del caudal de sus conocimientos, que aquellos conocimientos que poseen los tienen muy estructurados en diversas categorías por órdenes de abstracción conceptual. Esto posiblemente facilita el hallazgo de las oportunas “resonancias” al buscar nuevas soluciones.

De todo lo antedicho se deduce que el acto inteligente no se está produciendo todos los días a todas horas. Las personas no realizan actos inteligentes uno detrás de otro y nuestra vida también se compone de muchos momentos más o menos rutinarios, donde lo que hacemos es aplicar soluciones ya conocidas. En ciertos casos existe el peligro de un adocenamiento progresivo, derivado de una falta de desarrollo cultural y de la resultante escasa utilización de esta capacidad. En otros casos, los actos inteligentes son derivados en direcciones perjudiciales a la larga para los propios planes de vida por mecanismos patológicos que afectan el cerebro volitivo y motivacional, como ocurre en el caso del alcoholismo y la drogadicción. Sin embargo, en condiciones normales, la función mental que llamamos “curiosidad” nos lleva a explorar nuevos campos de conocimiento, con las consiguientes nuevas relaciones interpersonales o nuevas actividades, y con ello propicia el ejercicio relativamente frecuente de la inteligencia.

Es obvio que la capacidad de actuar inteligentemente es muy variable de unas personas a otras y de unos animales a otros. Las diferencias observadas entre diferentes especies animales parecen estar relacionadas con la cantidad de corteza que tienen. Es menos claro que este aspecto explique las aparentes diferencias individuales, en particular entre las personas. Pero, también en el hombre, es obvio que existe una estrecha relación con su culturización, o sea, con la cantidad de información que ordenada y racionalizadamente haya conseguido ingresar el hombre dentro de su cerebro. Por tanto la cultura, el aumento de la información y el aprendizaje potencian la inteligencia. Ello permite a la persona detectar la existencia de problemas y encontrar posibles soluciones que otra persona menos culta no podría ni siquiera plantearse que existen. Es menos conocido el papel de la educación sobre los aspectos motivacionales y volicionales de los actos inteligentes. Es probable, no obstante, que la formación de un carácter débil, que no define mínimamente o bien desiste rápidamente de sus objetivos personales y los sustituye por otros más acomodaticios, no beneficia el ejercicio de la inteligencia. Asimismo, es sabido que el entrenamiento específico en tareas de resolución de problemas genera hábitos positivos en esta materia.

Por otra parte, como última idea que lanzo al vuelo para terminar, diré que un resultado del uso habitual de la inteligencia es el aumento de la libertad,

porque la libertad humana se genera cuando el hombre se plantea elegir personalmente entre diversas opciones para su conducta. Todo lo que signifique tener los caminos marcados, actuar por soluciones trilladas sugeridas por los otros y no atreverse a plantearse soluciones nuevas a los problemas implica ser menos libre. Creo que la libertad humana se deriva precisamente de nuestra capacidad de idear nuevas soluciones y de iniciar nuevos caminos de actuación. Por tanto, conecto el acto inteligente con el acto libre.

# LA INTELIGENCIA HUMANA

**José Sánchez Cánovas**

Catedrático de la Universidad de Valencia  
Facultad de Psicología

ESTA conferencia se encuentra ubicada entre la explicación neurológica y la relativa a los sistemas inteligentes artificiales. Este orden tiene un sentido. Sugiere que la explicación psicológica puede constituir un nexo entre la neurociencia y la inteligencia artificial. En rigor, las tres disciplinas constituyen, junto con la antropología, la lingüística, las teorías computacionales y otras ramas del saber, las denominadas *Ciencias Cognitivas*.

Les indicaré brevemente el esquema de mi exposición. En primer lugar, entre mente y cerebro hay una clara relación. Pero el mero hecho de contraponerlas, aun cuando sea para afirmar que están estrechamente relacionados, puede dar lugar a una visión errónea y filosóficamente superada: el dualismo. Segundo, también existen nexos claros entre los sistemas animados o biológicos y los sistemas inteligentes artificiales. Pretendo responder a la pregunta “¿qué compartimos los sistemas inteligentes animados, es decir, animales y humanos, con los sistemas artificiales para que de ambos se pueda decir que actúan y se comportan inteligentemente?”. Para ello, describiré cuáles son las características más relevantes de ambos sistemas. Finalmente, dejaré abierta la cuestión siguiente: “¿Hay alguna diferencia entre los sistemas inteligentes animados e inanimados?”.

Desarrollo a continuación este esquema.

## CEREBRO-MENTE

El cerebro *causa* la mente. Con esta escueta afirmación trato de subrayar que el pensamiento, el razonamiento, la creatividad, la emoción, el afecto, los deseos, son propiedades del cerebro, quizá propiedades o cualidades emergentes, pero del cerebro (se denominan propiedades emergentes las no explicables por la mera consideración de las partes componentes). Rechazo, por lo tanto, todo tipo de dualismo o de división esencial entre cerebro y mente. En el pasado, a menudo se consideró la mente, así Descartes, como algo inmateri-

al, distinto del cerebro, aunque interactuando con él. Ciertos neurólogos, entre ellos el premio Nobel Sir John Eccles, siguen sosteniendo la distinción entre la mente y el cuerpo. Pero, como bien afirma otro premio Nobel, el británico Francis Crick,<sup>1</sup> “la opinión mayoritaria cree que todos los aspectos de la mente, incluido su atributo más misterioso –el de la consciencia–, podrían tener una explicación más materialista, a saber, que dependan del modo de funcionar grandes conjuntos neuronales que interactúan entre sí” (pág. 115).

La mente no es sino un proceso o conjunto de procesos. Y el cerebro es el sustrato y la causa de estos procesos. El cerebro humano es la estructura más enrevesada del universo conocido, de complejidad suficiente para coordinar los dedos de un concertista o para crear un paisaje tridimensional a partir de la luz que incide en una retina bidimensional. El cerebro resulta difícil de comprender porque, a diferencia de un ordenador, su construcción no obedece a propósitos específicos ni se atiene a principios concretos de diseño. La selección natural, fuerza motriz de la evolución, es su responsable. La maquinaria del cerebro está construida y mantenida conjuntamente por genes y experiencias. Si la mente es una propiedad emergente de la actividad eléctrica y metabólica del cerebro conforme se vayan definiendo claramente las funciones nerviosas, la psicología y las personas en general dispondremos de un vocabulario más apropiado para la descripción de esa mente emergente.<sup>2</sup>

## INTELIGENCIA HUMANA-INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Otro aspecto a tener en cuenta en esta descripción de la inteligencia humana es la Inteligencia Artificial. Los científicos de la computación llevan muchos años (desde comienzos de los cincuenta) intentando imitar la actividad mental humana por medio de sistemas “inteligentes”. Estos sistemas simulan y ejecutan actividades de utilidad práctica, por lo general excesivamente rápidas y complicadas para ser llevadas a cabo por seres humanos en solitario –quehaceres “expertos”– pero también tareas cognitivas, de comunicación, de solución de problemas. Los resultados son abundantes, brillantes y de gran utilidad para la comunidad humana. No hay que temer, pues, el avance científico en el desarrollo de los sistemas inteligentes artificiales dada la utilidad social, intelectual y cultural que comportan para nosotros. Sin embargo, la valoración en profundidad de estos resultados parece confirmar que por el momento la inteligencia artificial podría no haber llegado más allá de la réplica bien de lo que el cerebro humano puede hacer sin “esfuerzo” alguno, bien de tareas cuantitativas pero no cualitativamente complejas. En todo caso, hoy todavía no es plausible un sistema artificial que emule la complejidad de la mente humana. Esto

---

<sup>1</sup> Francis Crick y Christof Koch (1992): “El problema de la consciencia”, *Investigación y Ciencia*, n.º 194, págs. 115-122.

<sup>2</sup> Véase G. D. Fischbach (1992): *Investigación y Ciencia*, n.º 194, págs. 6-15.

no plantea una cuestión de principio, es decir, no plantea que no pueda conseguirse. Tampoco que así tenga que suceder.

## ¿CÓMO DESCRIBEN Y EXPLICAN LOS PSICÓLOGOS LA INTELIGENCIA HUMANA?

Desde una perspectiva muy general la inteligencia se concibe como la actividad que organiza, regula y planifica la acción humana. “La inteligencia es el autogobierno mental. La esencia de la inteligencia es proporcionarnos los medios para gobernarnos a nosotros mismos, de modo que nuestros pensamientos y nuestras acciones sean organizados, coherentes y adecuados tanto a nuestras necesidades internas como a las necesidades del medio ambiente”.<sup>3</sup> Resumidamente, los humanos somos sistemas inteligentes conscientes. No estoy afirmando que la consciencia sea privativa de los sistemas inteligentes biológicos, puede ser también una cualidad de los sistemas inteligentes artificiales. Aquí se afirma que la consciencia es una cualidad o propiedad de un organismo material muy complejo y evolucionado: el hombre, y también otras especies animales.

Acerca de la inteligencia humana mantengo lo siguiente:

1. Evolución, historia, cultura y sociedad es el ámbito donde tiene su origen la mente humana –en un sentido muy amplio que incluye no sólo la cognición sino también la emoción y el afecto; dentro de este contexto tiene también la mente humana su desarrollo.

2. Pongo el énfasis en la sociogénesis de la inteligencia y de las operaciones cognitivas, subrayando así que la inteligencia no es sólo una propiedad del individuo, sino un proceso relacional entre el individuo y los otros individuos.

3. Es mejor no empeñarse en definir el término “inteligencia” (lo que miden los test, etc.). Inteligencia es un término clave en la teoría, pero un término primitivo, no definido, que sirve para definir los otros conceptos de dicha teoría. Son los otros conceptos, los relativos a las operaciones o procesos mentales los que hay que tratar de definir lo más clara y explícitamente posible.

4. En la actualidad no puede abordarse el estudio de la inteligencia humana sin referirse a la inteligencia artificial. Los sistemas inteligentes animados e inanimados se explican a la luz de una teoría común, la teoría computacional.

La Inteligencia Artificial cristalizó como proyecto en los años cincuenta cuando un grupo de investigadores debatieron la posibilidad de producir programas de computadora capaces de “comportarse” o “pensar” inteligentemente. Esto es, describir de forma tan precisa cualquier aspecto de la inteligencia humana, como para que lo pueda simular en una máquina.

---

<sup>3</sup> R. J. Sternberg (1988): *¿Qué es la inteligencia?* Madrid: Pirámide.

Así pues, ¿cuáles son los mecanismos o procesos que todo sistema, animal o artificial, debe poseer para ser considerado inteligente?

Norman<sup>4</sup> indica los siguientes:

- *Los receptores o sistema sensorial*: permiten recibir información del mundo externo e interno.
- *El sistema motor*: permite que los sistemas inteligentes ejecuten acciones en el mundo externo, o sistema.
- Una serie de *procesos cognitivos*, que incluyen:
  1. *La representación mental de la información.*
  2. *Los procesos de control de las acciones.*
  3. *La atención.*
  4. *Una memoria relativamente permanente de acciones y experiencias.*
  5. *Una memoria a corto plazo que incluye la denominada memoria funcional o de trabajo.*
  6. *Operaciones básicas tales como inferir, relacionar, clasificar, comparar, transformar, etc.*
  7. *Mecanismos de retroalimentación para observar los efectos de nuestras operaciones en el mundo real.*
  8. *Metaconocimiento o formas de crear planes y controlar dichos planes.*
  9. *Aprendizaje.*

En resumen, los humanos, como sistemas inteligentes, han de poseer, los siguientes sistemas interrelacionados: sistema sensorial, sistema regulatorio, sistema emocional, sistema cognitivo y sistema motor. La investigación sobre los sistemas inteligentes se ha centrado fundamentalmente en lo que podríamos denominar *sistema cognitivo puro*, cuyos mecanismos u operaciones, hemos descrito anteriormente. Y en parte también en los sistemas sensorial y motor. Muy poco o nada en el sistema regulatorio y emocional que en los humanos es de primordial importancia. Donde más éxito ha obtenido la inteligencia artificial es en la simulación del *sistema cognitivo puro* (se entiende por *cognición* el conocimiento ligado a la *sensación* pero no a las *emociones*).

Describo a continuación cada uno de estos procesos u operaciones mentales para concluir preguntándonos: ¿Qué tienen en común todas estas operaciones cognitivas que permiten afirmar que, al menos funcionalmente, son idénticas en los humanos y en los sistemas artificiales?

## LA REPRESENTACIÓN MENTAL DE LA INFORMACIÓN

El logro más importante de la psicología cognitiva, incorporado después por la neurociencia y la Inteligencia Artificial, ha sido demostrar la necesidad de la representación mental para explicar los fenómenos cognitivos, desde la

---

<sup>4</sup> D. A. Norman (1987): *Perspectivas de la ciencia cognitiva*, Barcelona: Paidós.

percepción hasta la comprensión del discurso hablado o escrito. ¿Sobre qué opera nuestra mente? Nuestra mente opera o procesa un inmenso número de percepciones, ideas, creencias, hipótesis, pensamientos y recuerdos. Todas estas realidades son representaciones mentales o *símbolos* de uno u otro tipo.

El proceso comienza en el sistema sensorial. Cuando vemos algo el cerebro debe crear representaciones simbólicas de la información física y luego operar sobre esas representaciones. El estudio del sistema visual entraña la indagación de la forma en que el cerebro adquiere conocimiento del mundo exterior, tarea nada sencilla. La neurología fundamenta claramente la necesidad de las representaciones simbólicas para conocer y comprender la realidad. “Aunque la principal función del sistema visual –afirman Crick y Koch<sup>5</sup>– sea la de percibir objetos y sucesos en el mundo que nos rodea, la información disponible para nuestros ojos no basta, por sí sola, para que el cerebro se haga con su singular interpretación del mundo visual. El cerebro ha de invocar experiencias anteriores para que le ayuden a interpretar la información que nos entra por los ojos. Ver es un proceso constructivo, un proceso en el que el cerebro tiene que efectuar complejas actividades (llamadas a veces cómputos) para decidir qué interpretación del ambiguo estímulo visual es la que definitivamente adopta. El cerebro actúa para formar una representación simbólica del universo visual.” Y Zeki<sup>6</sup> añade: “La tarea del cerebro consiste en extraer las características constantes e invariantes de los objetos a partir de la riada de información que sobre ellos recibe. La interpretación constituye parte inextricable de la sensación. Por tanto, para adquirir su conocimiento de qué es lo visible, el cerebro no puede limitarse al mero análisis de las imágenes que le son presentadas a la retina; ha de construir activamente un mundo visual. A tal fin ha desarrollado un elaborado mecanismo neurológico, un mecanismo de eficiencia tan maravillosa que se ha necesitado un siglo de estudios antes de empezar a conjeturar sus numerosos componentes.... Hay en la visión mucho más de lo que llega al ojo. Los neurólogos de finales de siglo, fundados en la errónea noción según la cual los objetos transmitían códigos visuales en la luz que emitían o reflejaban, pensaron que las imágenes quedaban ‘impresas’ en la retina, como si ésta fuera una placa fotográfica. Las impresiones retinianas se transmitían luego a la corteza visual, que servía para analizar los códigos o claves contenidos en la imagen. Era este proceso de descodificación el que desembocaba en la ‘visión’. La comprensión de lo que estaba viendo, esto es la atribución de significado a las impresiones recibidas, era considerado proceso aparte, surgido de la asociación de las impresiones recibidas con otras similares experimentadas con anterioridad. Esta forma de entender el funcionamiento del cerebro creaba un hiato entre visión y entendimiento, entre sentir –la visión– y percibir –comprensión y significado–, y daba a cada una de estas facultades distinta sede en

---

<sup>5</sup> Véase “nota 1”.

<sup>6</sup> S. Zeki (1992): “La imagen visual en la mente y en el cerebro”, *Investigación y Ciencia*, n.º 194, págs. 26-47.

el cerebro. El descubrimiento de los sistemas paralelos que actúan en la visión permitió concluir que, aunque tienen autonomía, están interrelacionados de tal forma que integran la información visual y simultáneamente se dan la percepción y la comprensión”. La investigación psicológica, por otros procedimientos experimentales, adelantó esta explicación. La neurociencia ha explicitado qué mecanismos neurales intervienen y en qué forma operan. Pero más todavía, como afirma Zeki, “percibir y comprender implica consciencia. No es posible adquirir conocimiento sin conciencia como han puesto de manifiesto los pacientes con visión ciega”. “La consciencia, concluye Zeki, es una propiedad del complejo aparato nervioso que el cerebro ha desarrollado con el fin de adquirir conocimiento”.

Concluamos pues, que para ver, comprender, reconocer un rostro familiar, adquirir conocimientos, el cerebro, la mente, precisa construir representaciones simbólicas del mundo que contempla. La psicología ha acuñado diversos conceptos para referirse a estas representaciones mentales: esquemas, prototipos, regiones y ha tratado de explicar cómo representamos los conocimientos que poseemos.

El problema de la representación simbólica es tan importante en la inteligencia que el desarrollo de la inteligencia artificial ha sido posible gracias al perfeccionamiento de técnicas de representación de los conocimientos. Uno de los primeros problemas planteados al diseñador de un ordenador destinado a la inteligencia artificial es la definición del modo (o modos) de representación interna.

*¿Cómo se representan los conocimientos que un sistema inteligente va adquiriendo? ¿Qué otras operaciones se aplican sobre estas representaciones mentales?*

Estas operaciones o procesos son operaciones sobre símbolos y puede explicarse a partir de las teorías computacionales.

Así pues, lo común a todas estas propiedades es la computación, el operar con símbolos y sobre símbolos. El hombre y el ordenador son, por supuesto, seres muy diferentes, pero comparten la capacidad de crear, manipular y procesar símbolos abstractos. “Esto es lo que otorga la capacidad intelectual a los seres humanos, a los animales y a los aparatos artificiales” (Norman, pág. 16). No obstante, cabe plantearse con Norman: “sí, somos procesadores de símbolos, pero somos algo más”.

Las cifras o guarismos son símbolos que denotan esas entidades abstractas que son los números. Los símbolos, como por ejemplo los guarismos o cifras, pueden simbolizar muchos dominios distintos. Las cifras son poderosas porque cada una es distinta de todas y cada una de las restantes, y hay una simple receta estructural para construir una cantidad ilimitada de ellas. Incluso si un dominio contiene un número potencialmente infinito de entidades, se puede usar un sistema de numeración para simbolizarlo, siempre que haya alguna manera de relacionar las cifras con lo que significan. Así, podemos utilizar las cifras para representar esas entidades abstractas que son los números, pero también para denotar las letras del abecedario, el sexo de las personas, el

partido político al que pertenecen, el color de su piel, etc.

Los ordenadores trabajan con símbolos como lo hacemos los humanos. Sin embargo, está extendida la creencia de que los ordenadores trabajan con números. Los números son entidades abstractas. En cambio los guarismos o cifras que los representan son símbolos. A pesar de las posibles limitaciones, el ordenador tiene de hecho dos habilidades: puede manipular símbolos de manera que los transforme en nuevos símbolos a partir de aquéllos, y sus operaciones internas están controladas por símbolos.

También la mente puede construir símbolos y puede manipularlos dentro de varios procesos cognitivos. Puede relacionar los símbolos resultantes con algún aspecto del mundo, como cuando uno verifica una descripción. ¿Deberíamos suponer que el cerebro contiene símbolos? Los impulsos nerviosos y otros sucesos electroquímicos pueden considerarse como los primitivos subyacentes a partir de los cuales se construyen los símbolos.

Las teorías computacionales abordan precisamente este problema de la elaboración y manipulación de símbolos. La computabilidad proporciona un aparato conceptual apropiado para las teorías de la mente y permiten que éstas se expresen de forma que puedan modelarse en un programa de ordenador.

Estas son las razones por las que se puede hablar de sistemas inteligentes como sistemas que tienen alguna o algunas propiedades comunes, sean estos sistemas animados o inanimados.

Explicuemos brevemente los principales procesos cognitivos de los sistemas inteligentes. Dijimos que todo sistema inteligente, además de recibir información el entorno externo e interno ha de poseer una *memoria de acciones y experiencias*. Este tipo de memoria recibe denominaciones diversas: memoria a largo plazo, memoria permanente y base de conocimientos. ¿Cómo fijamos las acciones y experiencias en esta memoria permanente o base de conocimientos? ¿Cómo representamos en esta memoria las acciones y experiencias? Los investigadores cognitivos han postulado dos formas básicas de representación del conocimiento: la declarativa y la de procedimiento. El modo de representar los conocimientos declarativos (conocimiento acerca de qué son las cosas) es por medio de las denominadas redes proposicionales que implica un sistema de nudos, cada nudo representando un concepto, jerárquicamente interrelacionados que da lugar a que ante un estímulo o input se activen determinados nudos de la red proposicional. El modo de representar los conocimientos de procedimiento (cómo hacer tal cosa, por ejemplo, cómo escribir o cómo hacerse el lazo de la corbata) es por medio de los denominados sistemas de producción. Una producción implica siempre una condición y una acción: si tal condición o circunstancia... entonces... tal acción. Un conjunto de producciones sistemáticamente relacionadas configura un sistema de producción.

Otro proceso es el *acceso* a esta base de conocimientos y al uso de los mismos para resolver problemas o situaciones presentes. Aquí es donde aparece una de las operaciones mentales más relevantes tanto para la neurología y la psicología como para la inteligencia artificial. Se trata de la denominada *memo-*

*ria activada o funcional.* Este proceso explica cómo sincronizamos las operaciones de la mente sobre el input externo o estímulo y las operaciones de acceso y uso de los conocimientos, experiencias y acciones que precisamos para percibir y comprender el input.

En los sistemas expertos, este tipo de memoria que a veces recibe la denominación de “base de hechos” es la que contiene los datos propios de los problemas a tratar. Su operación estriba en memorizar todos los resultados intermedios, conservar la huella de los razonamientos efectuados y utilizarla simultáneamente para explicar el origen de las informaciones deducidas a lo largo de la sesión y para describir el comportamiento del sistema.

En los sistemas biológicos el proceso es semejante. Por ejemplo, en tareas tan rutinarias como mantener una conversación o conducir un automóvil hasta el lugar de trabajo, es preciso relacionar datos sensoriales inmediatos y conocimientos almacenados. La combinación de la consciencia del momento actual y la instantánea extracción de información almacenada constituye lo que denominamos memoria activada o funcional. Algunos consideran que tal vez éste sea el logro más notable de la evolución mental humana ya que en este proceso de la memoria activada se encierra la capacidad de planificar el futuro e hilvanar pensamientos e ideas.

La investigación neurológica ha puesto de relieve que la memoria funcional complementa a la memoria a largo plazo. Los conocimientos almacenados no serán de utilidad a menos que se pueda acceder a ellos y recordarlos con el fin de influir sobre el comportamiento inmediato.

Otro de los importantes mecanismos mentales anteriormente enumerado es el de un sistema capaz de establecer *inferencias* e interrelaciones entre conceptos y sucesos, requisitos para que el aprendizaje sea posible. Lo que en un sentido restringido llamamos razonar.

Es cierto que en algunas ocasiones los humanos aplicamos procesos de inferencia para resolver problemas muy próximos a la lógica. Pero, en general, el pensar humano se nos aparece mucho más desaliñado, intuitivo, sometido a representaciones subjetivas y no como un cálculo puro e inmaculado. Cuando los humanos hemos de afrontar problemas complejos más bien empleamos artificios heurísticos, estrategias y otros medios aproximados y vagos. Los humanos, como decía, para tratar problemas importantes, suelen proceder por etapas: en la primera, para reducir las dificultades hacen un razonamiento general, frecuentemente inexacto. Luego, en vista de las contradicciones que aparecen van afinando progresivamente su razonamiento hasta que ya no observan contradicción alguna.

Este tipo de razonamiento corresponde a lo que los especialistas denominan razonamiento del sentido común. Para ponerlo en práctica hay que hacer intervenir simultáneamente unos razonamientos generales, que a menudo pueden ser falsos, pero de alcance heurístico –*heurísticos*: reglas prácticas, imprecisas, pero generalmente eficaces– unos conocimientos precisos y unas estrategias generales para llegar, con menos esfuerzo, a la solución del problema

propuesto.

Algunos sistemas expertos modelizan este tipo de razonamiento aproximativo por medio de heurísticos, conocimientos y estrategias. Lo que no se ha conseguido todavía es construir un sistema que modelice simultáneamente razonamientos complejos ciertos y razonamientos aproximativos guiados por heurísticos.

Finalmente, los sistemas inteligentes han de tener alguna forma de establecer planes y controlar su funcionamiento. Esto implica no sólo poseer conocimientos, experiencias y el acceso eficaz a ellos, sino también cómo y cuándo utilizarlos. La mayor parte de nosotros sabemos sumar, restar, multiplicar y dividir –y si no nos acordásemos esa memoria auxiliar que es la calculadora podría ser utilizada como ayuda– pero lo importante radica en conocer si para este problema concreto es esa o esas operaciones aritméticas las que he de aplicar o son otras distintas. La mayor parte de nosotros conocemos el significado de cielo y tierra, como así mismo el de suelo y techo, pero conocer cómo emplear este conocimiento para establecer una analogía es cosa muy diferente. Este conocimiento sobre la forma de utilizar los conocimientos que poseemos y sobre la forma de hallar nuevos conocimientos a partir de los que poseemos recibe el nombre de *metaconocimiento* o procesos *metacognitivos*.

Los sistemas expertos que emulan el comportamiento humano han de incluir metaconocimientos en sus programas a fin de hacer posible el aprendizaje.

El *aprendizaje* es el proceso en virtud del cual adquirimos nuevos conocimientos y también nuevos sistemas conceptuales. En los humanos, organismos eminentemente plásticos, el aprendizaje es uno de los determinantes clave del desarrollo de la inteligencia. En los humanos, la inteligencia no es sólo una propiedad del individuo, sino un proceso relacional entre el individuo y los otros individuos que construyen y organizan juntos sus acciones sobre el medio físico y social. El papel que cumple la comunidad que circunda al individuo cognoscente es decisivo. Como bien dice Gardner,<sup>7</sup> “a partir de quienes nos rodean llegamos a comprender qué clase de opiniones, incluidas las de la comunidad científica, se consideran aceptables, falsas o peligrosas, justificadas o injustificadas. En un comienzo, ningún individuo puede emitir tales juicios; ellos proceden de una colectividad; y dado que todos pertenecemos a alguna comunidad, cobra sentido para nosotros invocarlos. Muy distinto es el caso de la computadora: no tiene ningún sentido señalarle que ha cometido un error o que sus creencias están injustificadas; la computadora no hace sino ejecutar lo que le ha sido programado. Únicamente pueden juzgarse conforme a esos patrones las entidades que existen dentro de una comunidad, que son consideradas parte de ésta e interactúan con ella” (págs. 415-416).

Por último, un sistema cognitivo debe ser *consciente* y *autoconsciente*.

---

<sup>7</sup> H. Gardner (1987): *La nueva ciencia de la mente*, Barcelona: Paidós.

Norman, uno de los más importantes psicólogos cognitivos, dice:

“La conciencia es el rótulo bajo el cual incluyo los problemas del pensamiento consciente y subconsciente, el problema de la autoconciencia, de la atención, de las estructuras de control de la cognición, de la formación de intenciones.

”La conciencia y sus actividades parecen ser directamente el resultado de las propiedades de un organismo cognitivo animado. Un organismo animado no puede darse el lujo de concentrarse enteramente en un problema hasta haberlo completo; los organismos animados tienen que tener ‘mentes múltiples’, dirigidas por los datos de los sucesos ambientales, e incluso estar siempre dispuestos a capitalizar los accidentes del mundo o evitar los huecos peligrosos e inesperados. No podemos estar completamente dirigidos por los datos, ni tampoco por el continuo flujo de información que proviene del sistema sensorial... tenemos que ser capaces de excluir lo excluible, de concentrarnos en lo más importante (o interesante) en un momento determinado” (págs. 331-332).

Pero, al menos en los humanos, hay algo más. El pensamiento, según Vigotski, tiene sus orígenes en la esfera motivante de lo consciente, una esfera que incluye nuestras inclinaciones y necesidades, nuestros intereses e impulsos y nuestros afectos y emociones.

En tanto que el pensamiento es el intento de establecer medios inteligentes para alcanzar metas, y en tanto que las metas humanas incluyen a otras personas y los sentimientos hacia ellas, no se puede separar conocimiento y afecto. Resolver problemas, para los humanos al menos, no es un conocer “frío”, sino que inherentemente implica emoción, relaciones sociales y una estructura social.<sup>8</sup>

Como muy bien ha dicho Fischbach:<sup>9</sup> “No somos ‘zombies’. Los anhelos, los estados de ánimo, los deseos y las formas de aprendizaje subconsciente han de ser contados entre los fenómenos mentales en un sentido amplio. Los afectos dependen de la función de las neuronas de igual manera que el pensamiento consciente” (pág. 6).

Pero ¿cuál es el papel de la emoción en el estudio de la cognición? Lo dejamos para el poeta, el dramaturgo, el novelista. Como personas, nos encanta el arte y la música. Nos peleamos, nos enfadamos, nos alegramos, sentimos pena y felicidad.

La emoción, ¿es el resto de un primitivo sistema de alerta? o ¿se trata de un complejo conjunto de estadios que alcanzan su punto más alto en el ser humano? Creo que esto último. El estudio de la emoción es un campo importante, con importantes hallazgos e implicaciones para el estudio de la cognición. No podemos ignorar nuestra herencia biológica, ignorar nuestros estados emocionales. La investigación ha demostrado el importante papel que juega la

---

<sup>8</sup> B. Rogoff (1990): *Apprenticeship in thinking. Cognitive Development in Social Context*, Nueva York: Oxford University Press.

<sup>9</sup> G. D. Fischbach (1992): “Mente y cerebro”, *Investigación y Ciencia*, n.º 194, págs. 6-15.

emoción en los organismos biológicos, y la estrecha relación entre las estructuras neurológicas consideradas importantes para la emoción y las que se consideran importantes para la memoria. Por otro lado, los seres humanos sobreviven, se alimentan del entorno, se protegen de las agresiones físicas, forman familias y sociedades, se reproducen y protegen y educan a los jóvenes. Muchas de estas actividades parecen depender de estructuras biológicas, que Norman sintetiza bajo el nombre de *sistema regulador*.

¿Hay alguna diferencia entre los sistemas inteligentes animados e inanimados? Norman señala las siguientes:

Una diferencia fundamental entre los sistemas animados e inanimados es que un sistema animado se automantiene, se protege, regula su funcionamiento propio y se reproduce. Un organismo recién nacido necesita una considerable maduración física, biológica y educativa; lo cual tiene lugar a lo largo de la infancia, la adolescencia y la edad adulta.

Un sistema animado tiene que sobrevivir, lo que significa que tiene que estar alerta por si ocurren sucesos inesperados: sus sistemas regulador y cognitivo tienen que interactuar.

Los sistemas animados tienen objetivos, deseos, propósitos. El sistema se encuentra motivado para ejecutar determinadas actividades. Los objetivos a largo plazo y los problemas relacionados con la supervivencia reciben prioridad.

Finalmente, ¿es irrelevante el hecho de ser los humanos sistemas biológicos y no así los ordenadores? No todos los autores coinciden. Algunos consideran que es un grave error concebir a los seres humanos con independencia de su pertenencia a una especie que ha evolucionado a lo largo de milenios, y de su condición de organismos que, a su vez, se desarrollan merced a una compleja interacción entre sus tendencias genéticas y los procesos ambientales a lo largo de su vida. En la medida en que los procesos de pensamiento reflejan estos factores biológico-evolutivos difieren fundamentalmente de lo que presenta un sistema inorgánico.

De acuerdo con Gardner, la meta última de la ciencia cognitiva debe ser, precisamente, suministrar una descripción coherente de la forma en que los seres humanos obtienen sus productos simbólicos más significativos: cómo llegan a componer sinfonías, a escribir poemas, a inventar máquinas (incluidas las computadoras) o a construir teorías (incluidas las computacionales y las cognitivas).

Otra conclusión, alternativa a la precedente, que tomo de Johnson-Laird<sup>10</sup> para finalizar mi exposición es la siguiente:

*Los seres humanos son animales (Darwin)*

*Los animales son máquinas (Descartes)*

---

<sup>10</sup> P. N. Johnson-Laird (1190: *El ordenador y la mente*, Barcelona: Paidós.

*Los seres humanos son máquinas (La Mettrie)*

He aquí un silogismo “*mecanomórfico*”.

Los procesos mentales son los cálculos de la mente. Esto implica que ciertas organizaciones de la materia permiten que se produzcan procesos que representan acontecimientos del mundo exterior. También implica que la materia de un ordenador no importa, lo que importa es la organización de sus procesos computacionales. Dejo abierto, pues, con las dos alternativas anteriores, un espacio para el escepticismo y para las preguntas que ulteriormente quieran plantear. Gracias.